



# Bemessungshilfsmittel für Betonbauteile nach Eurocode 2

Klaus Holschemacher  
Torsten Müller  
Frank Lobisch

 **Ernst & Sohn**  
A Wiley Company

# Leseprobe

# 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 Bemessungstabeln</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	Bemessungstabeln .....	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

## 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 $f_{ctm,n}$

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

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 <sup>2</sup>	12	16	20	25	30	35	40	45	50	
$f_{ck,cube}$ in N/mm <sup>2</sup>	15	20	25	30	37	45	50	55	60	
$f_{cm}$ in N/mm <sup>2</sup>	20	24	28	33	38	43	48	53	58	
$f_{ctm}$ in N/mm <sup>2</sup>	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 <sup>2</sup>	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 <sup>2</sup>	2,0	2,5	2,9	3,3	3,8	4,2	4,6	4,9	5,3	
$E_{cm}$ in N/mm <sup>2</sup>	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

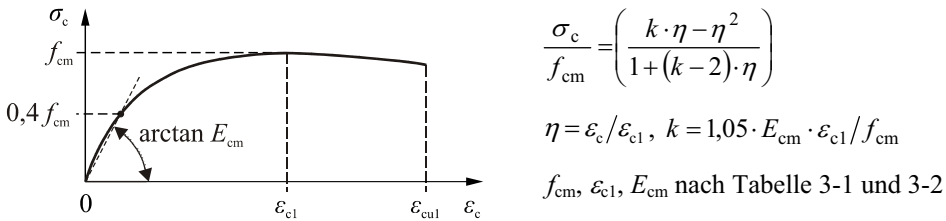
Kenngröße	Festigkeitsklassen für hochfesten Beton C						
	55/67	60/75	70/85	80/95	90/105	100/115	
$f_{ck}$ in N/mm <sup>2</sup>	55	60	70	80	90	100	
$f_{ck,cube}$ in N/mm <sup>2</sup>	67	75	85	95	105	115	
$f_{cm}$ in N/mm <sup>2</sup>	63	68	78	88	98	108	
$f_{ctm}$ in N/mm <sup>2</sup>	4,2	4,4	4,6	4,8	5,0	5,2	
$f_{ctk; 0,05}$ in N/mm <sup>2</sup>	3,0	3,1	3,2	3,4	3,5	3,7	
$f_{ctk; 0,95}$ in N/mm <sup>2</sup>	5,5	5,7	6,0	6,3	6,6	6,8	
$E_{cm}$ in N/mm <sup>2</sup>	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

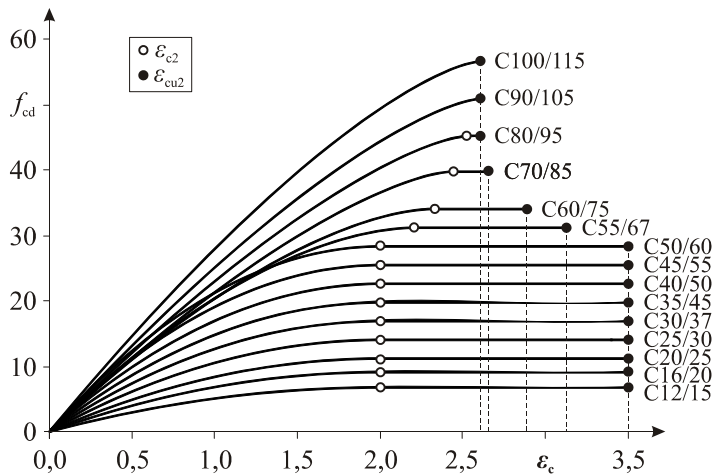
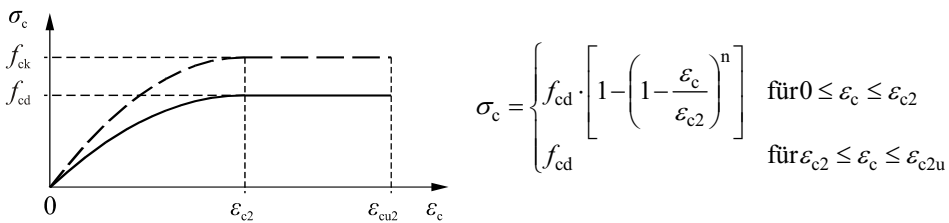
Für Beton unter einachsiger Druckbeanspruchung können nach EC2 grundsätzlich die nachfolgend beschriebenen Spannungs-Dehnungs-Beziehungen zur Anwendung kommen:

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



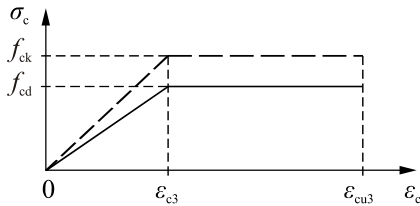
*Spannungs-Dehnungs-Linien für die Querschnittsbemessung*

Parabel-Rechteck-Diagramm

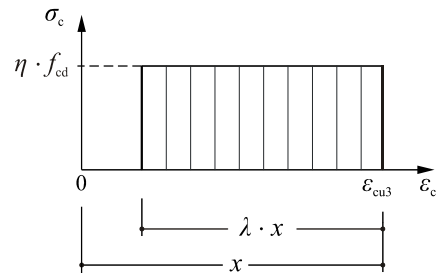




Bilineare Spannungs-Dehnungs-Linie



Spannungsblock



Für die Anwendung des Spannungsblockes gilt:

- Die Dehnungsnulllinie 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 Kriechauswirkungen 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  $-40 \text{ }^\circ\text{C}$  und  $+40 \text{ }^\circ\text{C}$ .

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.

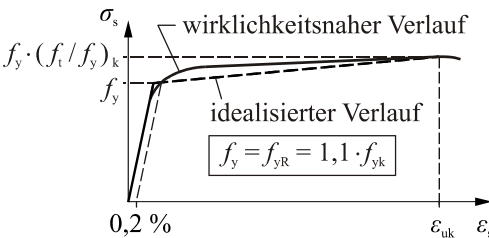
Die für die rechnerische Nachweisführung wichtigsten Materialkennwerte von Betonstahl sind in Tabelle 3-4 enthalten.

**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 $\epsilon_{uk}$ 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*

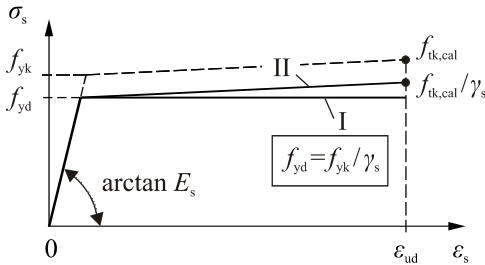


Sofern eine nichtlineare Schnittgrößenermittlung durchgeführt wird, ist dieser eine wirklichkeitsnahe Spannungs-Dehnungs-Linie für den Betonstahl mit  $\epsilon_s \leq \epsilon_{uk}$  zu Grunde zu legen. Näherungsweise darf ein bilinearer Verlauf der Spannungs-Dehnungs-Linie vorausgesetzt werden.

### Rechnerische Spannungs-Dehnungs-Linie des Betonstahls für die Bemessung

Es stehen alternativ zwei genäherte Spannungs-Dehnungs-Linien zur Verfügung:

- Spannungs-Dehnungs-Linie mit horizontalem Ast
- Spannungs-Dehnungs-Linie mit Berücksichtigung eines über die Streckgrenze hinausreichenden Festigkeitsanstieges



I – Spannungs-Dehnungs-Linie mit horizontalem Ast

II – Spannungs-Dehnungs-Linie mit Berücksichtigung eines Festigkeitsanstieges über die Streckgrenze hinaus

$$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s, f_{tk,cal} = 525 \text{ N/mm}^2$$

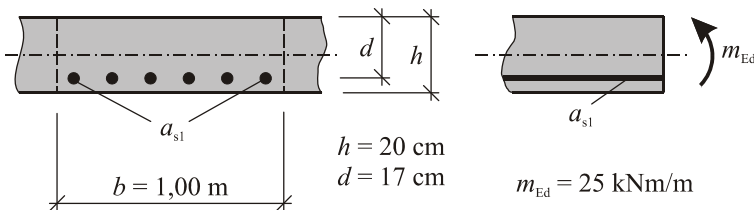
$$E_s = 200\,000 \text{ N/mm}^2, \epsilon_{ud} = 25\text{‰}$$

## 8 Anwendungsbeispiele

### 8.1 Allgemeines Bemessungsdiagramm

#### Beispiel 1a: Bemessung eines biegebeanspruchten Plattenquerschnittes

Querschnittsabmessungen und Beanspruchung:



Die Nachweisführung erfolgt für die ständige bzw. vorübergehende Bemessungssituation.

Baustoffe:

- C25/30, B500A
- Im Beispiel wird in der Spannungs-Dehnungs-Linie des Betonstahls der Festigkeitsanstieg über die Streckgrenze hinaus berücksichtigt.

$$f_{cd} = \alpha \cdot f_{ck} / \gamma_C = 0,85 \cdot 25 / 1,5 = 14,2 \text{ MN/m}^2$$

$$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_S = 500 / 1,15 = 434,8 \text{ MN/m}^2$$

Bemessung:

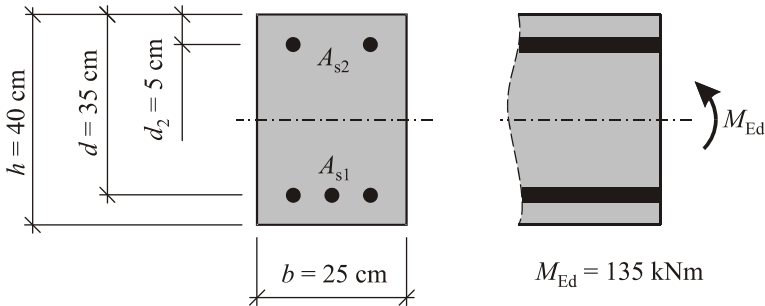
$$M_{Eds} = M_{Ed} - N_{Ed} \cdot z_{s1} = 25 \text{ kNm}$$

$$\mu_{Eds} = \frac{M_{Eds}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{25 \cdot 10^{-3}}{1,00 \cdot 0,17^2 \cdot 14,2} = 0,061$$

$$\rightarrow \text{abgelesen: } \varepsilon_{s1} = 25 \cdot 10^{-3}, \zeta = 0,97$$

$$\text{für } \varepsilon_{s1} = 25\text{‰} \text{ ist } \sigma_{s1d} = 525 / 1,15 = 456,5 \text{ MN/m}^2$$

$$a_{s1} = \frac{1}{\sigma_{s1d}} \cdot \left( \frac{M_{Eds}}{\zeta \cdot d} + N_{Ed} \right) = \frac{1}{456,5} \cdot \left( \frac{25 \cdot 10^{-3}}{0,97 \cdot 0,17} + 0 \right) = 3,32 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{m} = 3,32 \text{ cm}^2/\text{m}$$

**Beispiel 1b: Bemessung eines Rechteckquerschnittes mit Druckbewehrung***Querschnittsabmessungen und Beanspruchung:*

Die Nachweisführung erfolgt für die ständige bzw. vorübergehende Bemessungssituation. Die Schnittgrößen wurden auf der Grundlage einer linear-elastischen Berechnung ermittelt.

*Baustoffe:*

- C20/25, B500A
- Im Beispiel wird in der Spannungs-Dehnungs-Linie des Betonstahls der Festigkeitsanstieg über die Streckgrenze hinaus berücksichtigt.

$$f_{cd} = \alpha \cdot f_{ck} / \gamma_C = 0,85 \cdot 20 / 1,5 = 11,3 \text{ MN/m}^2$$

$$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_S = 500 / 1,15 = 434,8 \text{ MN/m}^2$$

*Bemessung:*

$$M_{Eds} = M_{Ed} - N_{Ed} \cdot z_{s1} = 135 \text{ kNm}$$

$$\mu_{Eds} = \frac{M_{Eds}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{135 \cdot 10^{-3}}{0,25 \cdot 0,35^2 \cdot 11,3} = 0,390$$

$$\mu_{Eds} = 0,390 > \mu_{Eds,lim} = 0,296 \rightarrow \text{Druckbewehrung anordnen}$$

→ abgelesen für  $\mu_{Eds,lim} = 0,296$  und  $d_2/d = 0,143$ :

$$\varepsilon_{s1} = 4,30 \cdot 10^{-3}; \varepsilon_{s2} = -2,35 \cdot 10^{-3}; \zeta = 0,813$$

$$\text{für } \varepsilon_{s1} = 4,30\text{‰} \text{ ist } \sigma_{s1d} = 436,8 \text{ MN/m}^2$$

$$\text{für } \varepsilon_{s2} = -2,35\text{‰} \text{ ist } \sigma_{s2d} = -434,9 \text{ MN/m}^2$$

$$\Delta M_{Eds} = M_{Eds} - M_{Eds,lim} = 135 - 0,296 \cdot 0,25 \cdot 0,35^2 \cdot 11,3 \cdot 10^3 = 135 - 102,4 = 32,6 \text{ kNm}$$

$$A_{s1} = \frac{1}{\sigma_{s1d}} \cdot \left( \frac{M_{Eds,lim}}{\zeta \cdot d} + \frac{\Delta M_{Eds}}{d - d_2} + N_{Ed} \right) = \frac{1}{436,8} \cdot \left( \frac{102,4 \cdot 10^{-3}}{0,813 \cdot 0,35} + \frac{32,6 \cdot 10^{-3}}{0,35 - 0,05} + 0 \right)$$

$$A_{s1} = 10,73 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = 10,73 \text{ cm}^2$$

$$A_{s2} = \frac{1}{|\sigma_{s2d}|} \cdot \frac{\Delta M_{Eds}}{d - d_2} = \frac{1}{|-434,9|} \cdot \frac{32,6 \cdot 10^{-3}}{0,35 - 0,05} = 2,50 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = 2,50 \text{ cm}^2$$

## 8.2 Bemessungstabellen mit dimensionslosen Beiwerten ( $\mu_s$ -Tafeln)

### Beispiel 2a: Bemessung eines biegebeanspruchten Plattenquerschnittes

Querschnittsabmessungen, Beanspruchung und Baustoffe siehe Beispiel 1a

*Bemessung:*

$$M_{Eds} = M_{Ed} - N_{Ed} \cdot z_{s1} = 25 \text{ kNm}$$

$$\mu_{Eds} = \frac{M_{Eds}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{25 \cdot 10^{-3}}{1,00 \cdot 0,17^2 \cdot 14,2} = 0,061$$

$$\rightarrow \omega = 0,0632 \text{ (interpoliert)}, \sigma_{sd} = 456,5 \text{ MN/m}^2$$

$$a_{s1} = \frac{1}{\sigma_{sd}} \cdot (\omega \cdot b \cdot d \cdot f_{cd} + N_{Ed}) = \frac{1}{456,5} \cdot (0,0632 \cdot 1,00 \cdot 0,17 \cdot 14,2 + 0)$$

$$a_{s1} = 3,28 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{m} = 3,28 \text{ cm}^2/\text{m}$$

### Beispiel 2b: Bemessung eines Rechteckquerschnittes mit Druckbewehrung

Querschnittsabmessungen, Beanspruchung und Baustoffe siehe Beispiel 2a

*Bemessung:*

$$M_{Eds} = M_{Ed} - N_{Ed} \cdot z_{s1} = 135 \text{ kNm}$$

$$\mu_{Eds} = \frac{M_{Eds}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{135 \cdot 10^{-3}}{0,25 \cdot 0,35^2 \cdot 11,3} = 0,390$$

Da die Schnittkraftermittlung auf der Grundlage einer linear-elastischen Berechnung erfolgte, wird  $\xi_{lim} = 0,45$  gewählt.

Ablesung in dimensionslosen Bemessungstabellen für Rechteckquerschnitte mit Druckbewehrung:

$$\rightarrow \text{abgelesen für } d_2/d = 0,15: \omega_1 = 0,4726, \omega_2 = 0,1104$$

$$A_{s1} = \frac{1}{f_{yd}} \cdot (\omega_1 \cdot b \cdot d \cdot f_{cd} + N_{Ed}) = \frac{1}{434,8} \cdot (0,4726 \cdot 0,25 \cdot 0,35 \cdot 11,3 + 0)$$

$$A_{s1} = 10,75 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = 10,75 \text{ cm}^2$$

$$A_{s2} = \omega_2 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0,1104 \cdot 0,25 \cdot 0,35 \cdot \frac{11,3}{434,8} = 2,51 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = 2,51 \text{ cm}^2$$

### 8.3 Dimensionsgebundene Bemessungstabellen ( $k_d$ -Tafeln)

#### Beispiel 3a: Bemessung eines biegebeanspruchten Plattenquerschnittes

Querschnittsabmessungen, Beanspruchung und Baustoffe siehe Beispiel 1a

*Bemessung:*

$$M_{\text{Eds}} = M_{\text{Ed}} - N_{\text{Ed}} \cdot z_{\text{s1}} = 25 \text{ kNm}$$

$$k_d = \frac{d}{\sqrt{M_{\text{Eds}}/b_{\text{eff}}}} = \frac{17}{\sqrt{25/1,00}} = 3,40$$

→  $k_s = 2,381$ ,  $\kappa_s = 0,952$  (Werte interpoliert)

$$a_{\text{s1}} = \left( k_s \cdot \frac{M_{\text{Eds}}}{d} + \frac{N_{\text{Ed}}}{\sigma_{\text{s1d}}} \right) \cdot \kappa_s = \left( 2,381 \cdot \frac{25}{17} + 0 \right) \cdot 0,952 = 3,33 \text{ cm}^2/\text{m}$$

#### Beispiel 3b: Bemessung eines Rechteckquerschnittes mit Druckbewehrung

Querschnittsabmessungen, Beanspruchung und Baustoffe siehe Beispiel 2a

*Bemessung:*

$$M_{\text{Eds}} = M_{\text{Ed}} - N_{\text{Ed}} \cdot z_{\text{s1}} = 135 \text{ kNm}$$

$$k_d = \frac{d}{\sqrt{M_{\text{Eds}}/b}} = \frac{35}{\sqrt{135/0,25}} = 1,51$$

→ keine Ablesung in  $k_d$ -Tafel für einfach bewehrte Rechteckquerschnitte möglich, Druckbewehrung anordnen

Da die Schnittkraftermittlung auf der Grundlage einer linear-elastischen Berechnung erfolgte, wird  $\xi_{\text{lim}} = 0,45$  gewählt.

Ablesung in  $k_d$ -Tafel für Rechteckquerschnitte mit Druckbewehrung:

→ abgelesen:  $k_{\text{s1}} = 2,74$ ;  $k_{\text{s2}} = 0,575$  (interpoliert für  $k_d = 1,51$ )

→ abgelesen:  $\rho_1 = 1,021$ ;  $\rho_2 = 1,097$  (interpoliert für  $d_2/d = 0,143$  und  $k_{\text{s1}} = 2,74$ )

$$A_{\text{s1}} = \rho_1 \cdot k_{\text{s1}} \cdot \frac{M_{\text{Eds}}}{d} + \frac{N_{\text{Ed}}}{\sigma_{\text{s1d}}} = 1,021 \cdot 2,74 \cdot \frac{135}{35} + 0 = 10,79 \text{ cm}^2$$

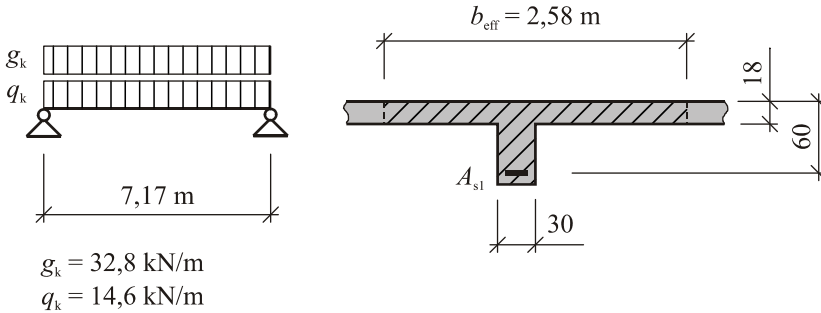
$$A_{\text{s2}} = \rho_2 \cdot k_{\text{s2}} \cdot \frac{M_{\text{Eds}}}{d} = 1,097 \cdot 0,575 \cdot \frac{135}{35} = 2,43 \text{ cm}^2$$



## 8.4 Bemessungstabellen für Plattenbalkenquerschnitte ( $\mu_s$ -Tafeln)

### Beispiel 4: Bemessung eines biegebeanspruchten Plattenbalkenquerschnittes

Querschnittsabmessungen und Beanspruchung:



Die Nachweisführung erfolgt für die ständige bzw. vorübergehende Bemessungssituation.

Baustoffe:

- C20/25, B500A
- Im Berechnungsbeispiel wird bei der Spannungs-Dehnungs-Linie des Betonstahls der Festigkeitsanstieg über die Streckgrenze hinaus berücksichtigt.

$$f_{cd} = \alpha \cdot f_{ck} / \gamma_C = 0,85 \cdot 20 / 1,5 = 11,3 \text{ MN/m}^2$$

$$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_S = 500 / 1,15 = 434,8 \text{ MN/m}^2$$

Bemessung:

$$M_{Ed} = \frac{1}{8} \cdot (\gamma_G \cdot g_k + \gamma_Q \cdot q_k) \cdot l_{eff}^2 = \frac{1}{8} \cdot (1,35 \cdot 32,8 + 1,5 \cdot 14,6) \cdot 7,17^2 = 425 \text{ kNm}$$

$$M_{Eds} = M_{Ed} - N_{Ed} \cdot z_{s1} = 425 \text{ kNm}$$

$$\mu_{Eds} = \frac{M_{Eds}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{425 \cdot 10^{-3}}{2,58 \cdot 0,60^2 \cdot 11,3} = 0,040$$

Ablesung von  $\omega_1$  in der Bemessungstabelle für den Plattenbalkenquerschnitt für:

$$\frac{h_f}{d} = \frac{0,18}{0,60} = 0,30, \quad \frac{b_{eff}}{b_w} = \frac{2,58}{0,30} = 8,6 \quad \text{und} \quad \mu_{Eds} = 0,040: \quad \rightarrow \quad \omega_1 = 0,039$$

$$A_{s1} = \frac{1}{f_{yd}} \cdot (\omega_1 \cdot b_{eff} \cdot d \cdot f_{cd} + N_{Ed}) = \frac{1}{434,8} \cdot (0,039 \cdot 2,58 \cdot 0,60 \cdot 11,3 + 0)$$

$$A_{s1} = 15,7 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = 15,7 \text{ cm}^2$$

Alternativ ist auch die Verwendung der  $k_d$ -Tafeln möglich, wenn nachgewiesen werden kann, dass die Nulllinie in der Platte liegt:

$$k_d = \frac{d}{\sqrt{M_{Eds}/b_{eff}}} = \frac{60}{\sqrt{425/2,58}} = 4,67$$

→  $k_s = 2,351$ ,  $\xi = 0,060$ ,  $\kappa_s = 0,952$  (Werte interpoliert)

$x = \xi \cdot d = 0,060 \cdot 60 = 3,6 \text{ cm} < h_f = 18 \text{ cm}$

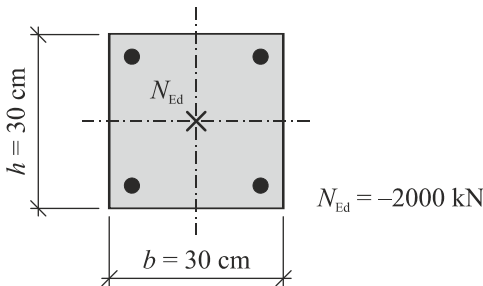
→  $k_d$ -Tafel ist anwendbar, da Nulllinie in der Platte

$$A_{s1} = \left( k_s \cdot \frac{M_{Eds}}{d} + \frac{N_{Ed}}{\sigma_{s1d}} \right) \cdot \kappa_s = \left( 2,351 \cdot \frac{425}{60} + 0 \right) \cdot 0,952 = 15,85 \text{ cm}^2$$

## 8.5 Bemessungstabellen für mittig gedrückte Stützen

### Beispiel 5: Bemessung einer mittig gedrückten Rechteckstütze

*Querschnittsabmessungen und Beanspruchung:*



Die Nachweisführung erfolgt für die ständige bzw. vorübergehende Bemessungssituation.

*Baustoffe:*

- C30/37, B500A
- Ansatz der Spannungs-Dehnungs-Linie des Betonstahls, welche den Festigkeitsanstieg über die Streckgrenze hinaus berücksichtigt (die Auswirkungen für normalfeste Betone sind dabei sehr gering, da die maximal anzusetzende Querschnittstauchung für Normalbetone lediglich 2,2‰ beträgt)

*Bemessung:*

Ablesung  $F_{cd}$  in Tafel für C30/37:  $F_{cd} = 1530 \text{ kN}$

erf.  $F_{sd} = 2000 - 1530 = 470 \text{ kN}$

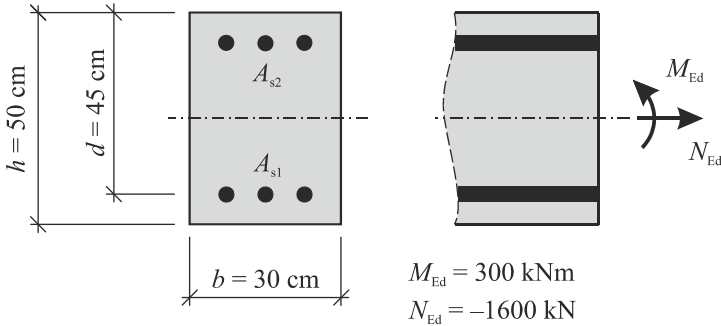
Ablesung  $F_{sd}$  in Tafel für B500: gewählt: 4 Ø 20 mm mit  $F_{sd} = 546 \text{ kN}$

$$|N_{Rd}| = F_{cd} + \beta \cdot F_{sd} = 1530 + 0,961 \cdot 546 = 2054,7 \text{ kN} > N_{Ed}$$

## 8.6 Interaktionsdiagramme für einachsige Biegung mit Längskraft

### Beispiel 6: Bemessung eines Rechteckquerschnittes

Querschnittsabmessungen und Beanspruchung:



Die Nachweisführung erfolgt für die ständige bzw. vorübergehende Bemessungssituation.

Baustoffe:

- C30/37, B500A

$$f_{cd} = \alpha \cdot f_{ck} / \gamma_C = 0,85 \cdot 30 / 1,5 = 17,0 \text{ MN/m}^2$$

$$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_S = 500 / 1,15 = 434,8 \text{ MN/m}^2$$

Bemessung:

$$\frac{e_d}{h} = \left| \frac{M_{Ed}}{N_{Ed} \cdot h} \right| = \left| \frac{300}{-1600 \cdot 0,50} \right| = 0,375 < 3,5$$

→ Bemessung mit  $\mu$ - $\nu$ -Interaktionsdiagramm

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} = \frac{0,30}{0,30 \cdot 0,50^2 \cdot 17,0} = 0,24$$

$$\nu_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{-1,60}{0,30 \cdot 0,50 \cdot 17,0} = -0,63$$

Die Ableseung von  $\omega_{tot}$  erfolgt im  $\mu$ - $\nu$ -Interaktionsdiagramm für:

- Beton C12/15 bis C50/60
- Rechteckquerschnitte mit zweiseitig symmetrischer Bewehrungsführung
- $d_1/h = 0,05/0,50 = 0,10$

→ abgelesen  $\omega_{tot} = 0,40$

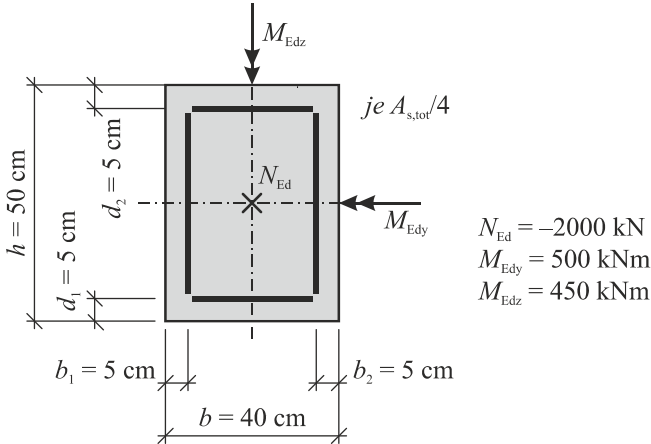
$$A_{s,tot} = \omega_{tot} \cdot \frac{b \cdot h}{f_{yd}/f_{cd}} = 0,40 \cdot \frac{30 \cdot 50}{434,8/17,0} = 23,4 \text{ cm}^2$$

$$A_{s1} = A_{s2} = \frac{A_{s,\text{tot}}}{2} = \frac{23,4}{2} = 11,7 \text{ cm}^2$$

## 8.7 Interaktionsdiagramme für zweiachsige Biegung mit Längskraft

### Beispiel 7: Bemessung eines Rechteckquerschnittes

Querschnittsabmessungen und Beanspruchung:



Die Nachweisführung erfolgt für die ständige bzw. vorübergehende Bemessungssituation.

Baustoffe:

- C35/45, B500A

$$f_{\text{cd}} = \alpha \cdot f_{\text{ck}} / \gamma_{\text{C}} = 0,85 \cdot 35 / 1,5 = 19,8 \text{ MN/m}^2$$

$$f_{\text{yd}} = f_{\text{yk}} / \gamma_{\text{S}} = 500 / 1,15 = 434,8 \text{ MN/m}^2$$

Bemessung:

$$\nu_{\text{Ed}} = \frac{N_{\text{Ed}}}{b \cdot h \cdot f_{\text{cd}}} = \frac{-1,60}{0,40 \cdot 0,50 \cdot 19,8} = -0,404$$

$$\mu_{\text{Edy}} = \frac{M_{\text{Edy}}}{b \cdot h^2 \cdot f_{\text{cd}}} = \frac{0,50}{0,40 \cdot 0,50^2 \cdot 19,8} = 0,253$$

$$\mu_{\text{Edz}} = \frac{M_{\text{Edz}}}{b \cdot h^2 \cdot f_{\text{cd}}} = \frac{0,40}{0,40^2 \cdot 0,50 \cdot 19,8} = 0,284$$

Die Ablesung von  $\omega_{\text{tot}}$  erfolgt im Interaktionsdiagramm für:

- Beton C12/15 bis C50/60
  - Rechteckquerschnitte mit allseitig symmetrischer Bewehrungsführung
  - $d_1/h = d_2/h = 0,05/0,50 = 0,10$
  - $b_1/b = b_2/b = 0,05/0,40 = 0,08 \approx 0,10$
  - $v = -0,4$
  - $\mu_1 = \max[\mu_{\text{Edy}}, \mu_{\text{Edz}}] = \mu_{\text{Edz}} = 0,284$
  - $\mu_2 = \min[\mu_{\text{Edy}}, \mu_{\text{Edz}}] = \mu_{\text{Edy}} = 0,253$
- abgelesen  $\omega_{\text{tot}} = 1,24$

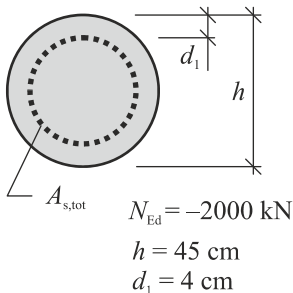
$$A_{s,\text{tot}} = \omega_{\text{tot}} \cdot \frac{b \cdot h}{f_{\text{yd}}/f_{\text{cd}}} = 1,24 \cdot \frac{40 \cdot 50}{434,8/19,8} = 112,9 \text{ cm}^2$$

einzelnde Bewehrung je Seite:  $A_{s,\text{tot}}/4 = 28,2 \text{ cm}^2$

## 8.8 Interaktionsdiagramme nach dem Verfahren mit Nennkrümmung

### Beispiel 8: Bemessung eines Kreisquerschnittes

Querschnittsabmessungen und Beanspruchung:



Sonstige Angaben:

Ersatzlänge:  $l_0 = 6,50 \text{ m}$

Die Stütze befindet sich in einem unverschieblichen Tragsystem.

Stützenkopf und -fuß sind monolithisch mit anderen lastabtragenden Bauteilen verbunden.

Die Nachweisführung erfolgt für die ständige bzw. vorübergehende Bemessungssituation.

Baustoffe:

- C20/25, B500A

$$f_{\text{cd}} = \alpha \cdot f_{\text{ck}} / \gamma_{\text{C}} = 0,85 \cdot 20 / 1,5 = 11,3 \text{ MN/m}^2$$

$$f_{\text{yd}} = f_{\text{yk}} / \gamma_{\text{S}} = 500 / 1,15 = 434,8 \text{ MN/m}^2$$

Bemessung:

$$\nu_{\text{Ed}} = \frac{N_{\text{Ed}}}{A_c \cdot f_{\text{cd}}} = \frac{-2,00}{(\pi/4 \cdot 0,45^2) \cdot 11,3} = -1,11$$

$$i = 0,25 \cdot h = 0,25 \cdot 45 = 11,25 \text{ cm}$$

$$\lambda = l_0 / i = 650 / 11,25 = 57,8 > 25 = \lambda_{\text{lim}}$$

→ Nachweis nach Theorie II. Ordnung ist erforderlich

Die Verformungszunahme infolge Kriechen des Betons darf vernachlässigt werden.

$$\rightarrow K_\varphi = 1 + \beta \cdot \varphi_{\text{ef}} = 1$$

Ungewollte Lastausmitte  $e_i$ :

$$\alpha_h = \min \left\{ \begin{array}{l} 2/\sqrt{l} = 2/\sqrt{6,50} = 0,784 \\ 1 \end{array} \right.$$

$$e_i = \theta_i \cdot \frac{l_0}{2} = \frac{1}{200} \cdot \alpha_h \cdot \frac{l_0}{2} = \frac{1}{200} \cdot 0,784 \cdot \frac{650}{2} = 1,3 \text{ cm}$$

$$e_1 = e_0 + e_i = 0 + 1,3 = 1,3 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} \text{Maßgebende Schnittgrößen: } M_{\text{Ed1}} &= N_{\text{Ed}} \cdot e_1 = 2,00 \cdot 0,013 = 0,026 \text{ MNm} \\ N_{\text{Ed}} &= -2,0 \text{ MN} \end{aligned}$$

Die Ablesung von  $\omega_{\text{tot}}$  erfolgt im  $\mu$ - $\nu$ -Interaktionsdiagramm für:

- Beton C12/15 bis C50/60
- Nachweisführung erfolgt für ständige bzw. vorübergehende Bemessungssituation
- $d_i/h = 0,04/0,45 = 0,09 \approx 0,10$
- $\lambda = 57,8 \approx 60$
- $K_\varphi = 1,0$

→ siehe Diagramm Seite 191

$$\mu_{\text{Ed1}} = \frac{M_{\text{Ed1}}}{A_c \cdot h \cdot f_{\text{cd}}} = \frac{0,026}{(\pi/4 \cdot 0,45^2) \cdot 0,45 \cdot 11,3} = 0,032 ; \nu_{\text{Ed}} = -1,11$$

→ abgelesen  $\omega_{\text{tot}} = 0,38$

$$A_{\text{s,tot}} = \omega_{\text{tot}} \cdot \frac{A_c}{f_{\text{yd}}/f_{\text{cd}}} = 0,38 \cdot \frac{\pi/4 \cdot 45^2}{434,8/11,3} = 15,7 \text{ cm}^2$$

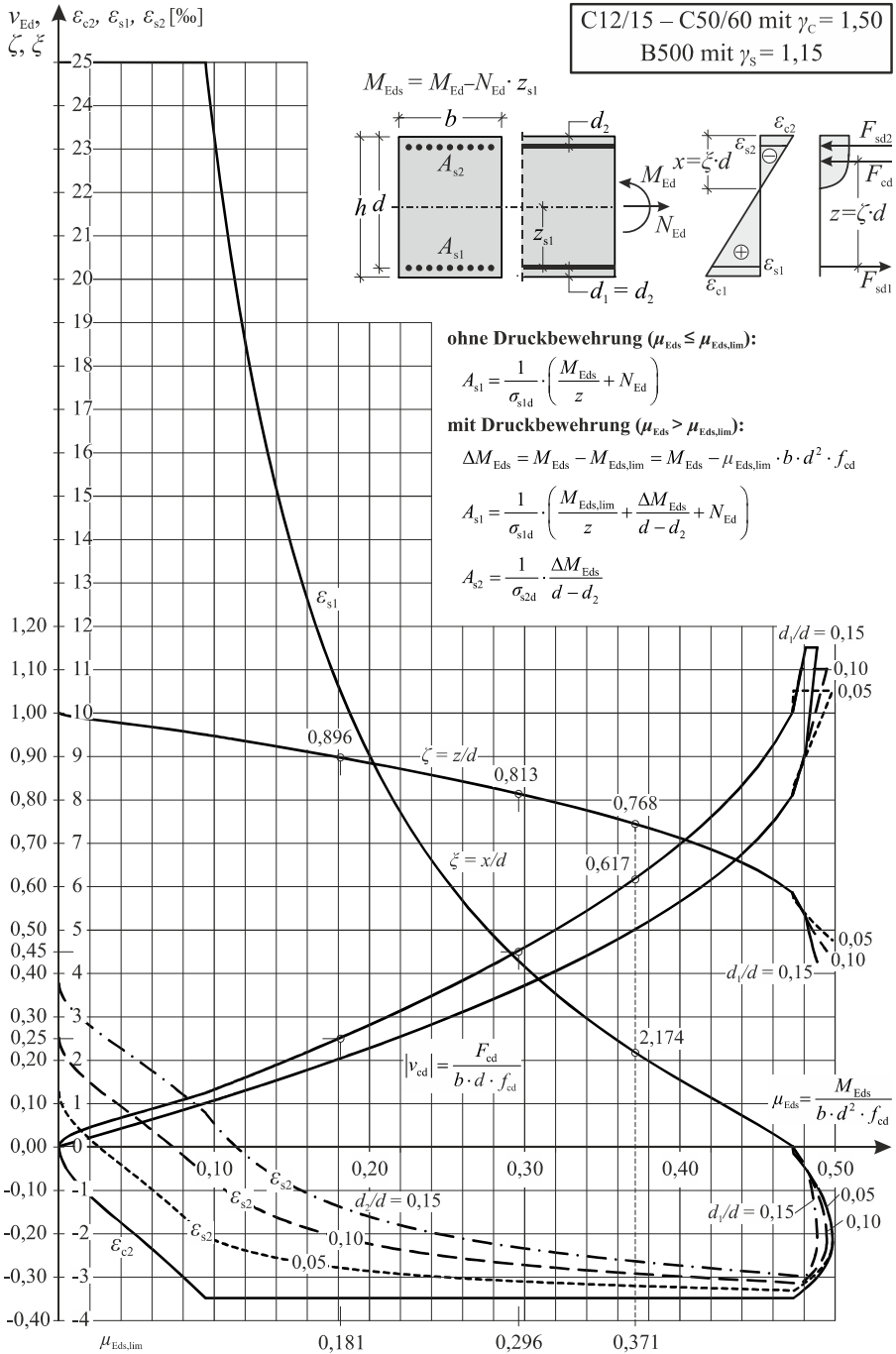
## 9 Bemessungstabellen und -diagramme für Normalbeton C12/15 - C50/60

Für Normalbetone stehen die in Tabelle 9-1 angegebenen Bemessungshilfsmittel zur Verfügung.

**Tabelle 9-1** Übersicht Bemessungshilfsmittel

Bemessungshilfsmittel	Querschnittsform	Seite
Allgemeines Bemessungsdiagramm	Rechteckquerschnitt	66
Bemessungstabellen mit dimensionslosen Beiwerten ( $\mu_s$ -Tafeln)	Rechteckquerschnitt (einfache Bewehrung)	67
	Rechteckquerschnitt (doppelte Bewehrung)	68
	Plattenbalkenquerschnitt	74
Dimensionsgebundene Bemessungstabellen ( $k_d$ -Tafeln)	Rechteckquerschnitt (einfache Bewehrung)	71
	Rechteckquerschnitt (doppelte Bewehrung)	72
Bemessungstabellen für mittig gedrückte Stützen	Rechteck-, Kreis- und Kreisringquerschnitt	76
Interaktionsdiagramme für einachsige Biegung mit Längskraft	Rechteckquerschnitt (zweiseitig symmetrisch bewehrt)	79
	Rechteckquerschnitt (allseitig symmetrisch bewehrt)	84
	Kreisquerschnitt	89
	Kreisringquerschnitt	94
Interaktionsdiagramme für zweiachsige Biegung mit Längskraft	Rechteckquerschnitt (punkt-symmetrisch bewehrt)	99
	Rechteckquerschnitt (zweiseitig symmetrisch bewehrt)	104
	Rechteckquerschnitt (allseitig symmetrisch bewehrt)	109
Interaktionsdiagramme nach dem Verfahren mit Nennkrümmung	Rechteckquerschnitt (zweiseitig symmetrisch bewehrt)	114
	Rechteckquerschnitt (allseitig symmetrisch bewehrt)	149
	Kreisquerschnitt	184

9.1 Allgemeines Bemessungsdiagramm





**9.2 Bemessungstabellen mit dimensionslosen Beiwerten ( $\mu_s$ -Tafel)**

**Rechteckquerschnitte ohne Druckbewehrung**

**C12/15 – C50/60 mit  $\gamma_C = 1,50$**   
**B500 mit  $\gamma_s = 1,15$**

$$\mu_{Eds} = \frac{M_{Eds}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}}$$

$$M_{Eds} = M_{Ed} - N_{Ed} \cdot z_{s1}$$

$$f_{cd} = \alpha \cdot f_{ck} / \gamma_C$$

$$A_{s1} = \frac{1}{\sigma_{sd}} (\omega \cdot b \cdot d \cdot f_{cd} + N_{Ed})$$

$\mu_{Eds}$	$\omega$	$\xi = x/d$	$\zeta = z/d$	$\epsilon_{c2}$ [‰]	$\epsilon_{s1}$ [‰]	$\sigma_{sd}^{1)}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{sd}^{2)}$ [N/mm <sup>2</sup> ]
0,01	0,0101	0,030	0,990	-0,773	25,000	434,78	456,52
0,02	0,0203	0,044	0,985	-1,146	25,000	434,78	456,52
0,03	0,0306	0,055	0,980	-1,464	25,000	434,78	456,52
0,04	0,0410	0,066	0,976	-1,763	25,000	434,78	456,52
0,05	0,0515	0,076	0,971	-2,060	25,000	434,78	456,52
0,06	0,0621	0,086	0,967	-2,365	25,000	434,78	456,52
0,07	0,0728	0,097	0,962	-2,682	25,000	434,78	456,52
0,08	0,0836	0,107	0,956	-3,009	25,000	434,78	456,52
0,09	0,0946	0,118	0,951	-3,349	25,000	434,78	456,52
0,10	0,1057	0,131	0,946	-3,500	23,294	434,78	454,90
0,11	0,1170	0,145	0,940	-3,500	20,709	434,78	452,43
0,12	0,1285	0,159	0,934	-3,500	18,552	434,78	450,38
0,13	0,1401	0,173	0,928	-3,500	16,726	434,78	448,64
0,14	0,1518	0,188	0,922	-3,500	15,159	434,78	447,15
0,15	0,1638	0,202	0,916	-3,500	13,799	434,78	445,85
0,16	0,1759	0,217	0,910	-3,500	12,608	434,78	444,72
0,17	0,1882	0,232	0,903	-3,500	11,555	434,78	443,72
0,18	0,2007	0,248	0,897	-3,500	10,617	434,78	442,82
<b>0,181</b>	<b>0,2024</b>	<b>0,250</b>	<b>0,896</b>	<b>-3,500</b>	<b>10,500</b>	<b>434,78</b>	<b>442,71</b>
0,19	0,2134	0,264	0,890	-3,500	9,777	434,78	442,02
0,20	0,2263	0,280	0,884	-3,500	9,019	434,78	441,30
0,21	0,2395	0,296	0,877	-3,500	8,332	434,78	440,65
0,22	0,2529	0,312	0,870	-3,500	7,706	434,78	440,05
0,23	0,2665	0,329	0,863	-3,500	7,132	434,78	439,50
0,24	0,2804	0,346	0,856	-3,500	6,605	434,78	439,00
0,25	0,2946	0,364	0,849	-3,500	6,118	434,78	438,54
0,26	0,3091	0,382	0,841	-3,500	5,667	434,78	438,11
0,27	0,3239	0,400	0,834	-3,500	5,247	434,78	437,71
0,28	0,3391	0,419	0,826	-3,500	4,856	434,78	437,34
0,29	0,3546	0,438	0,818	-3,500	4,490	434,78	436,99
<b>0,296</b>	<b>0,3643</b>	<b>0,450</b>	<b>0,813</b>	<b>-3,500</b>	<b>4,278</b>	<b>434,78</b>	<b>436,79</b>
0,30	0,3706	0,458	0,810	-3,500	4,146	434,78	436,66
0,31	0,3869	0,478	0,801	-3,500	3,823	434,78	436,35
0,32	0,4038	0,499	0,793	-3,500	3,517	434,78	436,06
0,33	0,4211	0,520	0,784	-3,500	3,228	434,78	435,79
0,34	0,4391	0,542	0,774	-3,500	2,953	434,78	435,52
0,35	0,4576	0,565	0,765	-3,500	2,692	434,78	435,28
0,36	0,4768	0,589	0,755	-3,500	2,442	434,78	435,04
0,37	0,4968	0,614	0,745	-3,500	2,203	434,78	434,81
<b>0,371</b>	<b>0,4994</b>	<b>0,617</b>	<b>0,743</b>	<b>-3,500</b>	<b>2,174</b>	<b>434,78</b>	<b>434,78</b>
0,38	0,5706	0,640	0,734	-3,500	1,973	394,51	394,51
0,39	0,6702	0,667	0,723	-3,500	1,750	350,10	350,10

1) Bilineare Arbeitslinie des Betonstahls mit horizontalem Verlauf des oberen Astes  
 2) Bilineare Arbeitslinie des Betonstahls mit Berücksichtigung des Festigkeitsanstiegs über die Streckgrenze hinaus

C12/15 – C50/60

# BESTELLFORMULAR

Stück	Bestell-Nr.:	Titel	Preis* in €
	978-3-433-02971-8	Holschemacher / Müller / Lobisch: Bemessungshilfsmittel für Betonbauteile nach Eurocode 2	59,- Euro
	906559	Gesamtverzeichnis Ernst & Sohn 2012/2013	kostenlos
	bitte ankreuzen	Monatlicher E-Mail-Newsletter	kostenlos

Liefer- und Rechnungsanschrift:  privat  geschäftlich

Firma			
Ansprechpartner		Telefon	
UST-ID Nr. / VAT-ID No.		Fax	
Straße//Nr.		E-Mail	
Land	PLZ	Ort	

**Vertrauensgarantie:** Dieser Auftrag kann innerhalb von zwei Wochen beim Verlag Ernst & Sohn, Wiley-VCH, Boschstr. 12, D-69469 Weinheim, schriftlich widerrufen werden.

Wilhelm Ernst & Sohn  
 Verlag für Architektur und  
 technische Wissenschaften  
 GmbH & Co. KG  
 Rotherstraße 21, 10245 Berlin  
 Deutschland  
 www.ernst-und-sohn.de



Datum / Unterschrift

\*€-Preise gelten ausschließlich in Deutschland. Alle Preise enthalten die gesetzliche Mehrwertsteuer. Die Lieferung erfolgt zuzüglich Versandkosten. Es gelten die Lieferungs- und Zahlungsbedingungen des Verlages. Irrtum und Änderungen vorbehalten.  
 Stand: Juni 2012 (homepage\_Probekapitel)