

Stahlbetontheorie - Materialparameter Stahlbetonbemessung

Seite aktualisiert Mai 2010

zur Auswahl der Hintergrundinformationen [→](#)Infos auf dieser Seite als pdf 

pcae-Programme unterstützen - je nach Ausbaustufe - folgende Bemessungsregeln (Normen):

- DIN 1045 (7.88) Stahlbetonbemessung
- DIN 1045-1 (7.01) Stahlbetonbemessung im Hochbau
- DIN-Fachbericht 102 (3.09) Bemessung von Betonbrücken
- ÖNORM B 4700 (6.01) Österreich: Stahlbetonbemessung im Hochbau
- DIN EN 1992-1-1 (10.05) Eurocode 2: Stahlbetonbemessung im Hochbau
- DIN 1045-1 (8.08) Stahlbetonbemessung im Hochbau

Die Eurocode-nahen Normen DIN 1045-1, DIN-Fb 102, ÖN B 4700 und EC 2 sind bis auf wenige Unterschiede identisch. Im Folgenden wird sich auf DIN 1045-1 bezogen, Unterschiede zum DIN-Fachbericht, zur ÖN B 4700 und zum EC 2 sind *besonders* gekennzeichnet.

Eine Zusammenstellung der korrespondierenden Kapitel, Gleichungen und Tabellen ist hier zu finden. [→](#)

Anmerkungen zur DIN 1045-1 Die neueste Ausgabe der Norm (August 2008) kann in den *pcae*-Programmen zur Bemessung herangezogen werden.

Unterschiede gegenüber der Ausgabe Juli 2001 sind *besonders* gekennzeichnet.

Anmerkungen zum Eurocode Die Eurocode-Normen sind nur in Verbindung mit ihren **nationalen Anhängen** gültig, welche für eine Auswahl an Parametern nationale Festlegungen treffen. Im Folgenden wird sich nur auf den Original-Code bezogen.

In Auswahlboxen werden die implementierten Beton- und Betonstahlsorten angeboten.

• DIN 1045

Festigkeitsklassen	
Normalbeton	B25
ρ_c	2200 kg/m ³
BETONSTAHL	BSt 500 S

• DIN 1045-1


Norm	DIN 1045-1 (8.08)	
	Normalbeton	C30/37
ρ_c	2200 kg/m ³	α_c 0.850
Bewehrung	BSt 500 (B)	
Spannungsdehnungslinie des Betons		
Im Grenzzustand der Tragfähigkeit	9.16	Parabel-Rechteck
Im Grenzzustand der Gebrauchstauglichk. sowie Verformungen	9.15	wirklichkeitsnah
<input type="checkbox"/> Kriechen und Schwinden 		
φ_{eff}	0.000	$\epsilon_{cs,w}$ 0.000 %
Bemessungssituation		
	Grundkombination	
NORMALBETON	γ_c	1.50
BEWEHRUNG	γ_s	1.15

Abb.: Eigenschaftsblätter aus *4H-BETON* (DIN 1045-1 (8.08))

Beton

Nach **DIN 1045** dürfen nur Betone der Festigkeitsklassen

B 15, B 25, B 35, B 45, B 55

sowie die Betonstahlsorten (nur Stabstahl)

BSt 220/340, BSt 420, BSt 500

ausgewählt werden.

Nach **DIN 1045-1** und **EC 2** können zusätzlich Betone der Festigkeitsklassen

C 12/15, C 16/20, C 20/25, C 25/30, C 30/37, C 35/45, C 40/50, C 50/60, C 55/67, C 60/75, C 70/85,
C 80/95, C 90/105, C 100/115

bzw. die zugehörigen Leichtbetone (auswählbar bei erlaubten (blau gekennzeichneten) Betongütern)

LC 12/13, LC 16/18, LC 20/22, LC 25/28, LC 30/33, LC 35/38, LC 40/44, LC 50/55, LC 55/60, LC 60/66

sowie die Betonstahlsorten

BSt 500 A (normal duktil), BSt 500 B (hoch duktil)

ausgewählt werden.

ÖN B 4700 regelt folgende Betone der Festigkeitsklassen

Ö-B 15, Ö-B 20, Ö-B 25, Ö-B 30, Ö-C 30/37, Ö-B 40, Ö-C 35-45, Ö-B 50, Ö-C 45/55, Ö-B 60

sowie die österreich-spezifischen Betonstahlsorten

Ö-BSt 550, Ö-BSt 600.

Da Unterschiede in den Kennwerten bestehen, werden die österreichischen Beton- und Stahlgütern durch ein vorangestelltes "Ö" gekennzeichnet.

DIN 1045 es werden nur die in der Norm zugelassenen Beton- und Stahlsorten unterstützt.

DIN-Fb 102 nach 3.1.4 (4) sollten Betonfestigkeitsklassen über C 50/60 nur verwendet werden, wenn ihr Einsatz hinreichend begründet ist. Nach 3.2.2 (109)P ist für Brückenüberbauten ausschließlich hoch duktiler Stahl zu verwenden. Leichtbeton darf nicht verwendet werden.

ÖN B 4700 in 3.4.1.1 (3) sind die in dieser Norm geregelten Betonfestigkeitsklassen aufgelistet. Es sind nur Betone bis zu einer Würfeldruckfestigkeit von 60 N/mm² (Normalbeton) zugelassen. Leichtbeton ist in dieser Norm nicht geregelt.

EC 2 Tab. 3.1 berücksichtigt Betonfestigkeitsklassen bis C 90/105.

Werden Betone der DIN 1045 angeboten, muss bei einer Bemessung mit Eurocode-nahen Normen die Würfeldruckfestigkeit β_{WN} in die Zylinderdruckfestigkeit $f_{ck} = \beta_{WN}/1.28$ (nach T. Ruge in: K.-W.

Bieger: Stahlbeton- und Spannbetontragwerke nach Eurocode 2, Springer-Verlag, 1993) umgerechnet werden.

Die Dichte des Leichtbetons ist bei Bedarf mit $2.000 \text{ kg/m}^3 > \rho > 800 \text{ kg/m}^3$ anzugeben.

Der Abminderungsbeiwert α_c zur Berücksichtigung von Langzeitauswirkungen auf die Druckfestigkeit sowie zur Umrechnung zwischen Zylinderdruckfestigkeit und einaxialer Druckfestigkeit des Betons ist hier zu belegen (i.A. DIN 1045-1 und DIN-Fb 102: Normalbeton: $\alpha_c = 0.85$, Leichtbeton: $\alpha_c = 0.75$, EC 2: $\alpha_c = 1.0$).

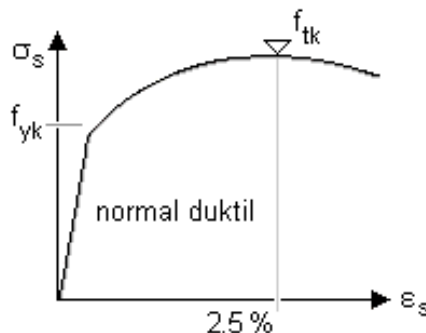
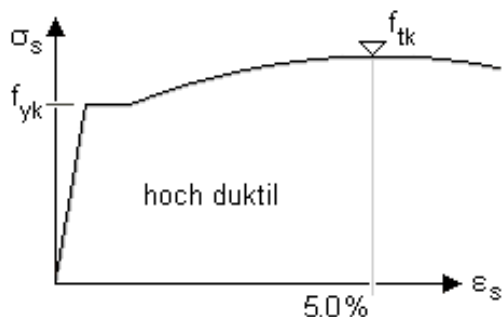
DIN 1045, ÖN B 4700: α_c ist bereits in die Betondruckfestigkeit β_R bzw. f_{ck} eingerechnet.

Betonstahl

Die Duktilitätsklassen der Stahlsorten sind folgendermaßen definiert:

hoch duktil: $f_{tk}/f_{yk} \geq 1.08$ und $\epsilon_{suk} = 50 \text{ ‰}$

normal duktil: $f_{tk}/f_{yk} \geq 1.05$ und $\epsilon_{suk} = 25 \text{ ‰}$



Bei der Bemessung im Grenzzustand der Tragfähigkeit wird jedoch stets ein normal duktiler Betonstahl vorausgesetzt (d.h. $f_{tk}/f_{yk} = 1.05$ und Bruchdehnung $\epsilon_{su} = 25 \text{ ‰}$).

DIN 1045 der Verlauf der Spannungsdehnungslinie von Betonstählen nach Bild 12 ist linear-konstant. Die Bruchdehnung beträgt $\epsilon_{su} = 5 \text{ ‰}$.

ÖN B 4700 der Verlauf der Spannungsdehnungslinie von Betonstählen nach 3.2 ist linear-konstant ($f_{tk} = f_{yk}$). Die Bruchdehnung wird näherungsweise zu $\epsilon_{su} = 20 \text{ ‰}$ angenommen.

• Benutzerdefinierte Materialien

Außerdem kann eine Bemessung nach für benutzerdefinierte Materialien erfolgen (nicht DIN 1045 und ÖN B 4700).

Dazu sind in einem gesonderten Eigenschaftsblatt die benötigten Grenzwerte zur Beschreibung der Spannungsdehnungslinien anzugeben.

• Beton

Nicht zugfestes Material (Beton)		f_{ck} - 20.0 MN/m ²	f_{ctm} + 2.21 MN/m ²
$\sigma_c = -f_{cd} \left[1 - \left(1 - \frac{\epsilon_c}{\epsilon_{c2}} \right)^{n_c} \right]$ für $0 \geq \epsilon_c \geq \epsilon_{c2}$ $\sigma_c = -f_{cd}$ für $\epsilon_{c2} \geq \epsilon_c \geq \epsilon_{c2u}$		α 0.850	<input checked="" type="checkbox"/> f_{ctm} berechnen
		$f_{cd} = \alpha f_{ck} / \gamma_c$	ϵ_{c2} 2.00 ‰
		ϵ_{c2u} 3.50 ‰	
		n_c 2.00	
		<input type="checkbox"/> Spannungsblock ($n_c \neq \infty$)	

Abb.: Eigenschaftsblatt aus 4H-BETON

- f_{ck} charakteristische Zylinderdruckfestigkeit nach 28 Tagen in N/mm²
- ϵ_{c2} Dehnung beim Erreichen der Festigkeitsgrenze in ‰
- ϵ_{c2u} Bruchdehnung in ‰
- n_c Exponent der Parabel $\sigma_c = -f_{cd} \cdot [1 - (1 - \epsilon_c/\epsilon_{c2})^{n_c}]$, für normalfesten Beton 2.0, für hochfestem Beton und Leichtbeton ab einer Güte von C60/75 in Tabelle 9 und 10 der DIN 1045-1 geregelt
- f_{ctm} Mittelwert der zentrischen Zugfestigkeit in MN/m²
- E_{cm} Elastizitätsmodul (Sekantenmodul) in MN/m²

• Bewehrung

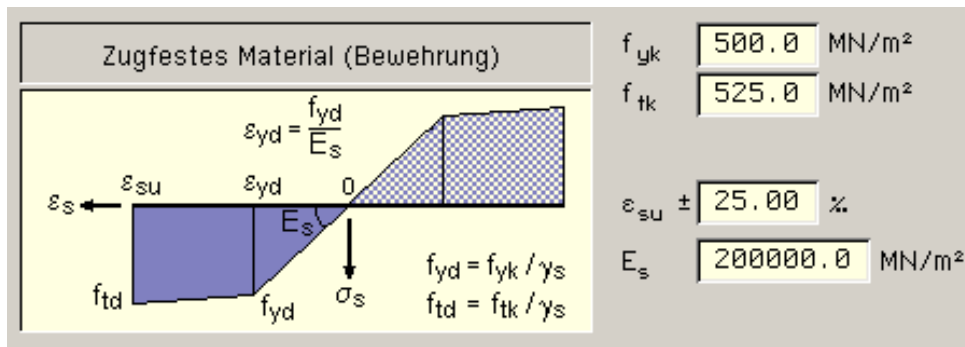


Abb.: Eigenschaftsblatt aus 4H-BETON

f_{yk} Streckgrenze, $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s$ in N/mm²

f_{tk} Dehngrenze, $f_{td} = f_{tk} / \gamma_s$ in N/mm²

ε_{su} Bruchdehnung in ‰

E_s Elastizitätsmodul in N/mm²

• Spezielle Materialien

Neuerdings sind in einigen Stahlbeton-Bemessungsmodulen auch spezielle Materialien integriert, die in die Eurocode-nahen Bemessungsverfahren integriert werden können. Derzeit gibt es als neue ‚Stahlsorten‘:

• ComBAR GFK

Bewehrung aus glasfaserverstärktem Kunststoff von Schöck Bauteile GmbH (s. www.schoeck.de).

Diese Bewehrung ist für besondere Anforderungen an Korrosionsbeständigkeit, elektrischer Isolation oder besonderer Resistenz gegen chemischen Angriff entwickelt worden.

In *pcae*-Programmen werden allerdings keine materialspezifischen Nachweise geführt, da GFK-Bewehrung nicht genormt ist.

Folgende Parameter gehen in die Bemessung ein:

$$f_{yk} = f_{tk} = 870 \text{ N/mm}^2$$

$$\gamma_s = 2.0 \text{ (abweichend von der Norm)}$$

$$\varepsilon_{su} = 0.725 \text{ ‰}$$

$$E_s = 60.000 \text{ N/mm}^2$$

• Gitterträger (nicht ÖN B 4700)

Gitterträger dienen in erster Linie dazu, nachträglich mit Ortbeton ergänzte Deckenplatten (Elementdecken) wirtschaftlich und komfortabel herzustellen.

In den *pcae*-Programmen werden allerdings keine materialspezifischen Nachweise geführt, da Gitterträger nicht genormt sind. Die von den genormten Stahlsorten abweichenden Materialdaten sind wie folgt definiert:

$$f_{yk} = f_{tk} = 420 \text{ N/mm}^2$$

• Spannungsdehnungslinien und Sicherheitskonzept

In den nachfolgenden Bildern sind die in den unterschiedlichen DIN-Normen angenommenen Spannungsdehnungslinien und die verschiedenen Sicherheitskonzepte für Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit in der Übersicht dargestellt.

DIN 1045

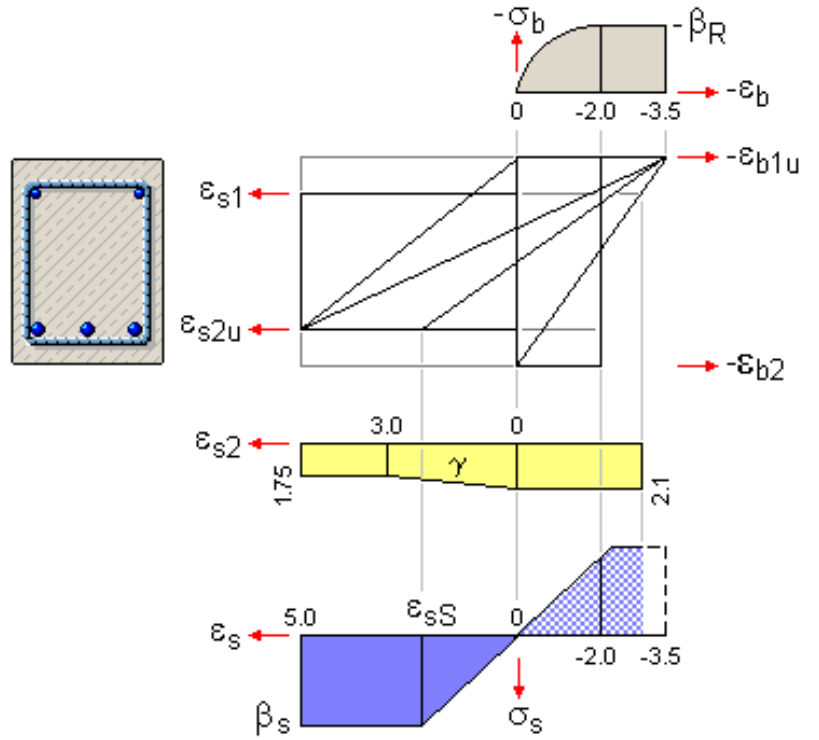
Die Spannungsdehnungsbeziehung für den Beton (grau unterlegt) wird als Parabel-Rechteck idealisiert, für den Betonstahl (blau) wird eine bilineare Spannungsdehnungsbeziehung angenommen, deren Verlauf nach Erreichen der Streckgrenze konstant ist.

Der Sicherheitsbeiwert (gelb) variiert in Abhängigkeit der Stahldehnung zwischen 1.75 und 2.1.

Die Stahlbruchdehnung wird mit $\epsilon_{s2u} = 5\text{‰}$ und die Betonbruchdehnung mit $\epsilon_{b1u} = -3.5\text{‰}$ (voll überdrückt $\epsilon_{b1} = -2\text{‰}$) angenommen.

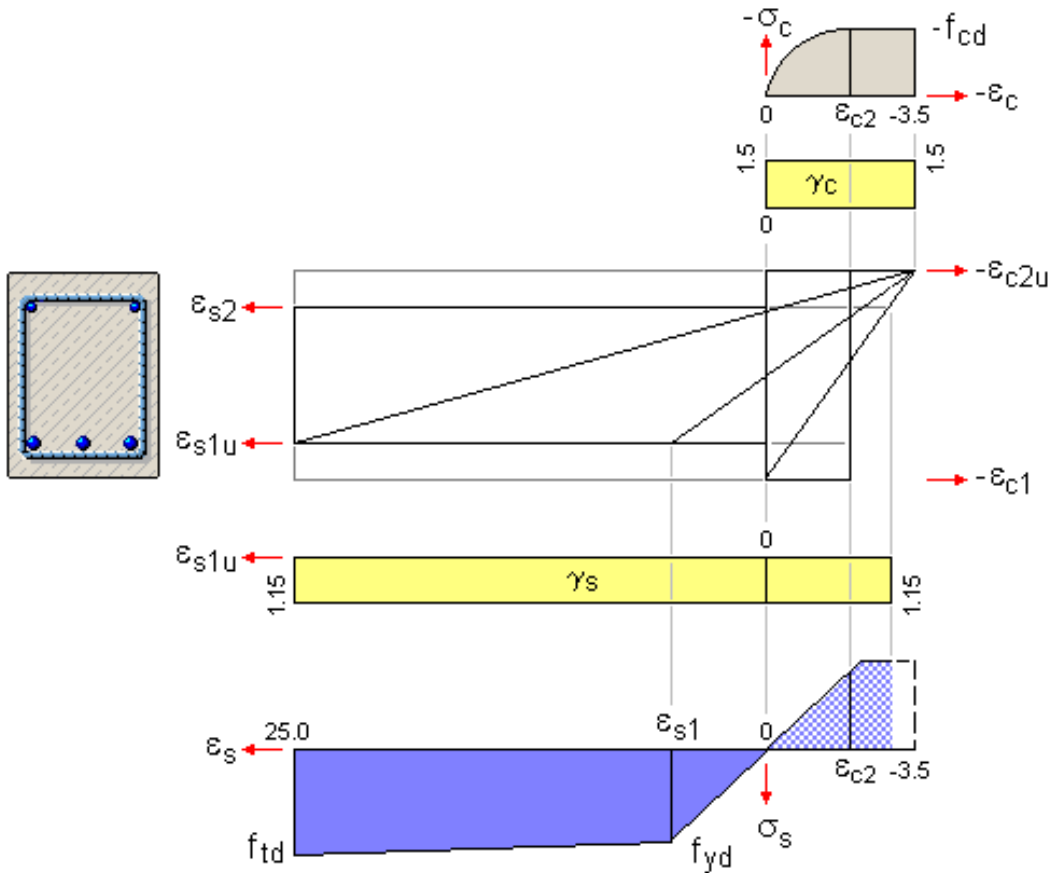
Aus Gründen der Wirtschaftlichkeit (variabler Sicherheitsbeiwert) sollte bei höherer Belastung die Stahlbruchdehnung nur zu $\epsilon_{s2} = 3\text{‰}$ ausgenutzt werden.

Bei Bedarf wird programmintern umgeschaltet.



Diese Spannungsdehnungslinien werden grundsätzlich auch für die Nachweise im Gebrauchslastzustand mit $\gamma = 1$ angesetzt.

DIN 1045-1, DIN-Fb 102, EC 2



Die Spannungsdehnungsbeziehung für Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit wird für den Beton (grau unterlegt) nach 9.1.6 als Parabel-Rechteck idealisiert, für den Betonstahl (blau) wird nach 9.2.4 eine bilineare Spannungsdehnungsbeziehung angenommen, deren Verlauf nach Erreichen der Streckgrenze linear veränderlich bis zur Bruchdehnung ist.

Die Sicherheitsbeiwerte für Beton γ_c und Stahl γ_s (gelb) sind – in Abhängigkeit von der Bemessungssituation – konstant. Sie werden entweder für die Bemessungssituationen ‚Grundkombination‘ bzw. ‚außergewöhnliche Kombination‘ berechnet oder können vom Benutzer ‚benutzerdefiniert‘ vorgegeben werden.

Die Stahlbruchdehnung beträgt $\varepsilon_{s1u} = 25 \text{ ‰}$; die Betonbruchdehnung ε_{c2u} (voll überdrückt ε_{c2}) ist für DIN 1045-1-Betongüten abhängig von der Betongüte in Tab. 9 (Leichtbeton: Tab. 10) angegeben.

Aus Gründen der Wirtschaftlichkeit sollte bei höherer Belastung die Druckzonenhöhe begrenzt werden (s. "Vereinfachter Nachweis der **plastischen Rotation**").

Bei Bedarf wird programmintern umgeschaltet.

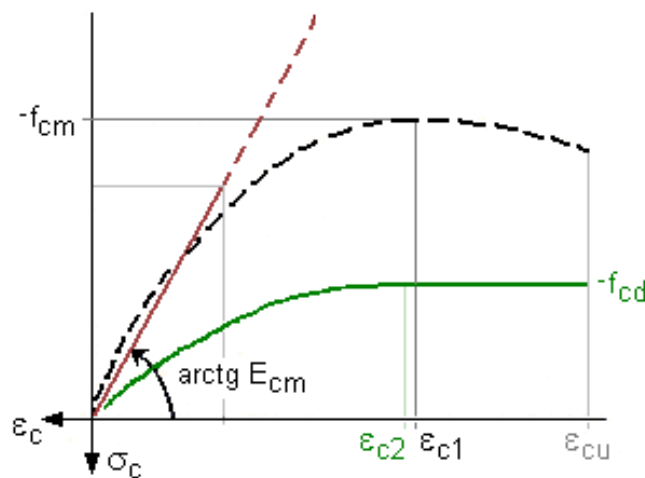
Für Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit kann das Materialverhalten des Betons mit $\gamma_c = 1$ wahlweise über das Parabel-Rechteck-Diagramm nach 9.1.6, über die wirklichkeitsnähere Spannungs-Dehnungsbeziehung nach 9.1.5 (empfehlenswert) oder linear mit $\alpha_E = E_s/E_{cm}$ bzw. $\alpha_E =$ benutzerdefiniert angenommen werden.

Unterschiede zeigen sich insbesondere bei den Betondruckspannungen, wohingegen die Stahlzugspannungen nur wenig auf eine Veränderung des Materialverhaltens reagieren.

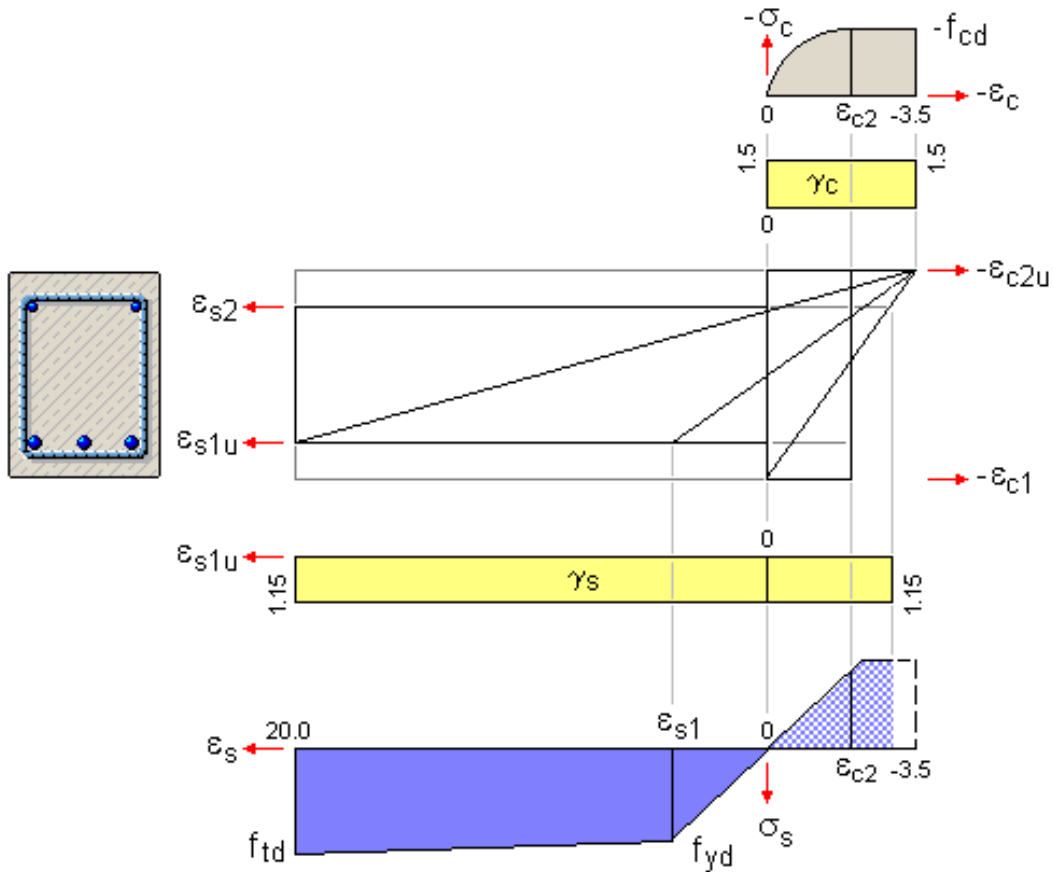


Bei hoher Belastung ($\sigma_c > 0.4 \cdot f_{cm}$) erweist sich das Parabel-Rechteck-Diagramm nach 9.1.6 als zu ‚weich‘, während der lineare Ansatz zu hohe Werte liefert.

Die realitätsnahe Abbildung der Spannungsdehnungsbeziehung des Betons nach 9.1.5 berücksichtigt in den geringen Dehnungsbereichen das lineare Materialverhalten und bei hoher Belastung den sanften Übergang zur Bruchspannung.



Als Spannungsdehnungslinie des Betonstahls wird nach 9.2.3 ein bilinearer Verlauf mit $\gamma_s = 1$ angenommen, dessen Dehngrenze mit der Duktilitätsklasse variiert.



Die Spannungsdehnungsbeziehung für Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit wird für den Beton (grau unterlegt) nach 3.4.1.1(4) als Parabel-Rechteck idealisiert, für den Betonstahl (blau) wird nach 3.4.1.2 eine bilineare Spannungsdehnungsbeziehung angenommen, deren Verlauf nach Erreichen der Streckgrenze konstant verläuft.

Die Sicherheitsbeiwerte für Beton γ_c und Stahl γ_s (gelb) sind – in Abhängigkeit von der Bemessungssituation – konstant. Sie werden entweder für die Bemessungssituationen ‚Grundkombination‘ bzw. ‚außergewöhnliche Kombination‘ berechnet oder können vom Benutzer ‚benutzerdefiniert‘ vorgegeben werden.

Die Stahlbruchdehnung beträgt $\varepsilon_{s1u} = 20 \text{ ‰}$ (Annahme); die Betonbruchdehnung beträgt für ÖNORM-Betongüten $\varepsilon_{b1u} = -3.5 \text{ ‰}$ ($\varepsilon_{b1} = -2 \text{ ‰}$, s. Bild 7).

Aus Gründen der Wirtschaftlichkeit sollte bei höherer Belastung die Druckzonenhöhe begrenzt werden (siehe "Vereinfachter Nachweis der **plastischen Rotation**").

Bei Bedarf wird programmintern umgeschaltet.

Für Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit kann das Materialverhalten des Betons mit $\gamma_c = 1$ wahlweise über das Parabel-Rechteck-Diagramm nach 3.4.1.1(4) oder linear mit $\alpha_E = E_s / E_{cm}$ bzw. $\alpha_E =$ benutzerdefiniert angenommen werden.

Unterschiede zeigen sich insbesondere bei den Betondruckspannungen, wohingegen die Stahlzugspannungen nur wenig auf eine Veränderung des Materialverhaltens reagieren.

• Vereinfachter Nachweis der plastischen Rotation

Nach DIN 1045-1, 8.2(3) wird programmintern berücksichtigt für

Flächentragwerke

- $k_x = x/d \leq 0.45$ für Beton bis zur Festigkeitsklasse C50/60
- $k_x = x/d \leq 0.35$ für Beton ab der Festigkeitsklasse C55/67 und Leichtbeton

Balken (wirtschaftlich)

$$k_x = x/d \leq \frac{\epsilon_{c2u}}{\epsilon_{c2u} - \epsilon_{yd}} \quad \dots \text{ mit } \dots \quad \epsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s}$$

Bei Bedarf kann für Balken der Grenzwert $\lim k_x$ variiert werden (nur 4H-BETON).

Die Einhaltung der Druckzonenhöhe erfolgt jedoch nur, wenn

$$d_2 \leq (1 - |\epsilon_{yd} / \epsilon_{c2u}|) \cdot \lim k_x \cdot h_{stat}$$

d.h. wenn in Stahlfaser 2 wenigstens ϵ_{yd} ausgenutzt wird.

Falls sich kein Gleichgewichtszustand findet, wird programmintern auf ‚einlagige‘ Bewehrungsanordnung umgeschaltet.

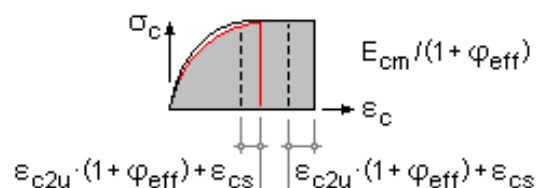
• Kriechen und Schwinden

Nachweise, die im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit geführt werden, beziehen sich häufig auf einen Zeitpunkt (Endzeitpunkt der Nutzbarkeit), an dem das Betonkriechen und –schwinden nicht vernachlässigbar ist.

Diese Einflüsse können über einen einfachen Ansatz (Modifikation der Spannungsdehnungslinie des Betons) berücksichtigt werden (nicht DIN 1045):

Kriechen Vergrößerung der Dehnungen $\epsilon_{c2}, \epsilon_{c2u}$
(Verringerung des E-Moduls) um den Faktor $(1 + \varphi_{eff})$

Schwinden Verringerung der Dehnungen um das Maß ϵ_{cs}



Die effektive Endkriechzahl $\varphi_{eff} = f_{eff} \cdot \varphi_{\infty}$ und das Endschwindmaß ϵ_{cs} können entweder vom Anwender direkt vorgegeben oder vom Programm nach DIN 1045-1, Kap. 9.1.4, bzw. Heft 525, DAfStb, berechnet werden.

Abb.: Eigenschaftsblatt aus 4H-BETON

Kriechzahl berechnen $\varphi_{eff} = 3.60$

Schwindmaß berechnen $\epsilon_{cs} = 0.613 \%$

Zementfestigkeitsklasse 32.5 R

relative Luftfeuchte $40\% \leq 50 \%$ $\leq 100\%$

der Trocknung ausgesetzt

Querschnittsumfang $u = 200.0$ cm

Querschnittsfläche $A_c = 100.0$ cm²

$h_0 = 2 \cdot A_c / u = 1.0$ cm

Belastungsbeginn $t_{0k} = 28$ d

effektive Kriechzahl $\varphi_{eff} = 1.00 \cdot \varphi(\infty, t_{0k})$

Der Dauerlastfaktor kann abgeschätzt werden zu $f_{eff} = M_{1perm} / M_{1Ed}$

- M_{1perm} Biegemoment nach Theorie I. Ordnung unter der quasiständigen Einwirkungskombination
- M_{1Ed} das entsprechende Biegemoment unter der Bemessungseinwirkungskombination

 **Literatur**



© [pcae](#) GmbH Kopernikusstr. 4A 30167 Hannover Tel. 0511/70083-0