



4H- STATIKPROGRAMME
AUS HANNOVER

DTE Desktop[®]
Engineering



pcae GmbH

Kopernikusstr. 4A

30167 Hannover

Tel 0511/70083-0

Fax 0511/70083-99

Internet www.pcae.de

Mail dte@pcae.de



pcae - Stahlbetontheorie

Februar 2015



pcae - Stahlbetontheorie

Copyright 2010-2015

3. überarbeitete Auflage, Februar 2015

pcae GmbH, Kopernikusstr. 4 A, 30167 Hannover

pcae versichert, dass Handbuch und Programm nach bestem Wissen und Gewissen erstellt wurden. Für absolute Fehlerfreiheit kann jedoch infolge der komplexen Materie keine Gewähr übernommen werden.

Änderungen an Programm und Beschreibung vorbehalten.

Korrekturen und Ergänzungen zum vorliegenden Handbuch sind ggf. auf der aktuellen Installations-CD enthalten. Ergeben sich Abweichungen zur Online-Hilfe, ist diese aktualisiert.

Ferner finden Sie **Verbesserungen und Tipps im Internet unter www.pcae.de**.

Von dort können zudem aktualisierte Programmversionen herunter geladen werden. S. hierzu auch automatische Patch-Kontrolle im DTE[®]-System.

Inhaltsverzeichnis

1	Materialparameter für die Stahlbetonbemessung	9
1.1	Beton	9
1.2	Betonstahl	10
1.3	Benutzerdefinierte Materialien	11
1.4	Spezielle Materialien	12
1.4.1	ComBAR GFK	12
1.4.2	Gitterträger	12
1.5	Spannungsdehnungslinien und Sicherheitskonzept	12
1.5.1	DIN 1045 (7.88)	12
1.5.2	DIN 1045-1, DIN-Fb 102, EC 2	13
1.5.3	ÖN B 4700	14
1.6	Vereinfachter Nachweis der plastischen Rotation	15
1.7	Kriechen und Schwinden	15
2	Biege- und Normalkraftbemessung	16
2.1	Anforderungen an die Bewehrungsanordnung	16
2.1.1	DIN 1045, 17.2	16
2.1.2	DIN 1045-1, 10.2 / DIN-Fb 102, 4.3.1	16
2.1.3	EC 2, 6.1	16
2.1.4	ÖN B 4700, 3.4.2	17
2.2	Bemessung	17
3	Querschnittsausnutzung / Brandschutz von Druckgliedern	18
4	Brandbem. n. DIN EN 1992-1-2 (EC 2 für Brandbeanspruchung)	19
4.1	Thermische Analyse	19
4.2	Mechanische Analyse - Bemessungsverfahren	21
4.2.1	Zonenmethode	21
4.2.2	Vereinfachtes allgemeines Rechenverfahren	22
4.3	Spannungsdehnungsbeziehungen unter Hochtemperaturbelastung	22
5	Druckzonendicke / Nachweis der Dichtigkeit	24
5.1	DAfStb-Richtlinien "Wasserundurchlässige Bauwerke"	24
5.1.1	Nachweis der Mindestdruckzonendicke	24
5.1.2	Rissbreitennachweis als Dichtigkeitsnachweis	24
5.2	DAfStb-Richtlinien "Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen"	24
5.2.1	Nachweis der Dichtigkeit in ungerissenen Bereichen	24
5.2.2	Nachweis der Mindestdruckzonendicke	25
5.2.3	Rissbreitennachweis als Dichtigkeitsnachweis	25
6	Schubbemessung	26
6.1	Schubbemessung DIN 1045 (7.88), 17.5	26
6.1.1	Querkraftbemessung	26
6.1.1.1	Verfahren nach Heft 400, DAfStb	27
6.1.1.2	Verfahren nach Grasser und Heft 320, DAfStb	28
6.1.2	Torsionsbemessung	28
6.1.3	Bemessung für Querkraft und Torsion	28
6.2	Schubbemessung DIN 1045-1, 10.3 u. 10.4 / DIN-Fb 102, 4.3.2 u. 4.3.3 / EC 2, 6.2 u. 6.3 / ÖN B 4700, 3.4.4 u. 3.4.6	28
6.2.1	Querkraftbemessung	29
6.2.1.1	Bemessungswert der ohne Querkraftbewehrung aufnehmbaren Querkraft	29
6.2.1.2	Besonderheiten bei einer "Platten"-Bemessung	30
6.2.1.3	Bemessungswert der durch die Tragfähigkeit der Querkraftbewehrung begrenzten aufnehmbaren Querkraft	30

6.2.1.4	Berechnung des Druckstrebenwinkels.....	31
6.2.1.5	Bemessungswert der durch die Druckstrebenfestigkeit begrenzten aufnehmbaren Querkraft	31
6.2.1.6	Querkraftausnutzung.....	32
6.2.1.7	Besonderheiten bei der Ausnutzung von Gitterträgern.....	32
6.2.2	Zweiachsige Querkraftbeanspruchung (geneigte Querkraft).....	32
6.2.2.1	Bemessung der Querkraftkomponenten	32
6.2.2.2	Bemessungsansatz von Peter Mark	33
6.2.3	Mindestquerkraftbewehrung.....	33
6.2.4	Anschluss der Gurte an den Balkensteg.....	33
6.2.5	Schubkraftübertragung in Fugen.....	34
6.2.6	Torsionsbemessung.....	37
6.2.6.1	Prüfung auf erforderlichen Nachweis	37
6.2.6.2	Berechnung des Bemessungswertes des aufnehmbaren Torsionsmomentes:.....	37
6.2.6.3	Berechnung des maximal aufnehmbaren Torsionsmomentes.....	38
6.2.7	Bemessung für Querkraft und Torsion.....	38
6.2.8	Hauptdruckspannungsnachweis	38
7	Rissnachweis.....	39
7.1	Rissnachweis DIN 1045,17.6.....	40
7.1.1	Mindestbewehrung (17.6.2)	40
7.1.2	Regeln für die statisch erforderliche Bewehrung (17.6.3).....	41
7.2	Rissnachweis DIN 1045-1, 11.2 / DIN-Fb 102, 4.4.2 / EC 2, 7.3.....	41
7.2.1	Mindestbewehrung ohne direkte Berechnung (DIN 1045-1, 11.2.2)	42
7.2.2	Mindestbewehrung bei dickeren Bauteilen (nur DIN 1045-1 (8.08), 11.2.2(8)).....	43
7.2.3	Berechnung des Grenzdurchmessers der Bewehrung ohne direkte Berechnung (DIN 1045-1, 11.2.3).....	43
7.2.4	Begrenzung der Rissbreite durch direkte Berechnung (DIN 1045-1, 11.2.4).....	43
7.3	Rissnachweis ÖN B 4700, 4.2	46
7.3.1	überwiegende Zwangsbeanspruchung (4.2.2).....	46
7.3.2	überwiegende Lastbeanspruchung (4.2.3)	46
7.4	Rissnachweis nach P. Schießl.....	47
7.5	Rissnachweis nach P. Noakowski.....	47
7.6	besondere Hinweise bei Kreisquerschnitten	48
7.6.1	DIN 1045-1, DIN-Fb 102, EC 2, Schießl	48
7.6.2	Schießl, Noakowski.....	48
7.7	besondere Hinweise bei Wänden	48
8	Spannungsnachweis	49
9	Ermüdungs- (Schwing-)nachweis.....	50
9.1	Schwingnachweis DIN 1045, 17.8	50
9.2	Ermüdungsnachweis DIN 1045-1, 10.8.....	50
9.2.1	Nachweis n. Abschn. 10.8.4 (Stufe 1, GZG).....	51
9.2.1.1	Bewehrung	51
9.2.1.2	Beton	51
9.2.2	Nachweis n. Abschn. 10.8.3 (Stufe 2, GZT)	51
9.2.2.1	Bewehrung	52
9.2.2.2	Beton	52
10	Verformungsnachweis	53
10.1	Verformungsnachweis n. DIN 1045, 17.7.2	53
10.2	Verformungsnachweis n. DIN 1045-1, 11.3.2 / ÖN B 4700, 4.3.2	53
10.3	Verformungsnachweis n. EC 2, 7.4.2.....	53
10.4	Verformungsnachweis n. Heft 240, DAfStb	54
11	mitwirkende Plattenbreite	56
11.1	DIN 1045, 15.3 / DIN 1045-1, 7.3.1 / DIN-Fb 102, 2.5.2.2.1 / EC 2, 5.3.2.1	56
12	Bemessung von unbewehrtem Beton	57
12.1	DIN 1045, 17.9	57

12.2	DIN 1045-1	57
12.2.1	Biegemessung.....	57
12.2.2	Druckglieder aus unbewehrtem Beton (Theorie II. Ord.)	57
12.2.3	Schubbemessung.....	58
12.3	EC 2	58
12.3.1	Biegebemessung.....	58
12.3.2	Auswirkungen von Verformungen (Th. II. Ord.) auf Einzeldruckglieder und Wände	58
12.3.3	Schubbemessung.....	59
13	Umschnürte Druckglieder	59
13.1	DIN 1045, 17.3.2	59
14	Vereinfachter Knicknachweis für Einzeldruckglieder.....	60
14.1	DIN 1045-1, 8.6 / EC 2, 5.8.3.....	60
14.2	DIN 1045-1, 8.6.5 / EC 2, 5.8.8.....	60
15	Korrespondierende Kapitelnummern DIN 1045-1 / DIN-Fb 102 / EC 2 / ÖN B 4700	62
16	Nationaler Anhang zu EN 1992-1-1 und EN 1992-1-2.....	65
17	Literaturverzeichnis	67
18	Index	70

1

Materialparameter für die Stahlbetonbemessung

Je nach Ausbaustufe unterstützen **pcae**-Programme derzeit 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 unter Abs. 15, S. 62, zu finden.



Anmerkungen zum EC 2: Der deutsche Nationale Anhang des Eurocodes wird in den **pcae**-Programmen derzeit nicht unterstützt. Sämtliche Parameter, die nicht frei eingetragbar sind, folgen somit der Empfehlung des Eurocodes.

Festigkeitsklassen
Normalbeton B25
 ρ_c 2200 kg/m³
BETONSTAHL BSt 500 S

DIN 1045

Norm DIN 1045-1 (7.01)
Normalbeton C20/25
 ρ_c 2200 kg/m³ α_c 0.850
Bewehrung BSt 500 (B)
Spannungsdehnungslinie des Betons
Im Grenzzustand der Tragfähigkeit 9,16 Parabel-Rechteck
Im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit sowie Verformungen 9,15 wirklichkeitsnah
 Kriechen und Schwinden
 $\varphi(\infty, t_0) = 0.00$ $\epsilon_{cs, \infty} = 0.000$ %
Bemessungssituation
Grundkombination
NORMALBETON γ_c 1.50
BEWEHRUNG γ_s 1.15

DIN 1045-1

In Auswahllisten werden die je nach gewählter Norm möglichen Beton- und Betonstahlsorten für die Längsbewehrung angeboten.

1.1

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, DIN Fb 102 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 1045-1	Es werden sämtliche Beton- und Stahlsorten mit Ausnahme der Ö-Betone und -stähle 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/mm^2 (Normalbeton) zugelassen. Leichtbeton ist in dieser Norm nicht geregelt.
EC 2	Tab. 3.1 berücksichtigt Betonfestigkeitsklassen bis C 90/105.

Die Bemessung von Bauteilen mit Eurocode-nahen Normen ist auch mit Betonsorten der DIN 1045 möglich. Dazu wird die Würfeldruckfestigkeit β_{WN} umgerechnet in die Zylinderdruckfestigkeit $f_{ck} = \beta_{WN} / 1.28$ (nach T. Ruge).

Die Dichte des Leichtbetons ist bei Bedarf mit $2000 \text{ kg/m}^3 > \rho > 800 \text{ kg/m}^3$ 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: $\alpha_c = 1.0$).

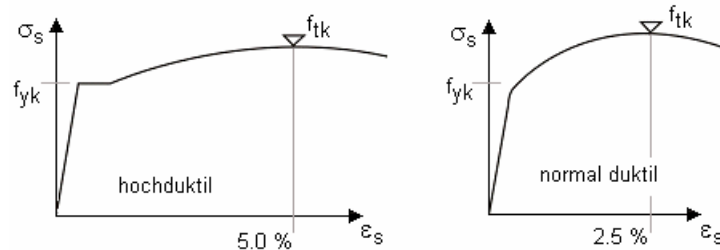
DIN 1045, ÖN B 4700: α_c ist bereits in die Betondruckfestigkeit β_R bzw. f_{ck} eingerechnet.

1.2 Betonstahl

Die Duktilitätsklassen der Stahlsorten sind folgendermaßen definiert:

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

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

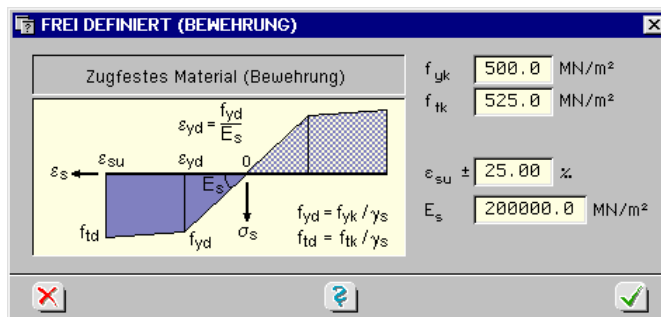
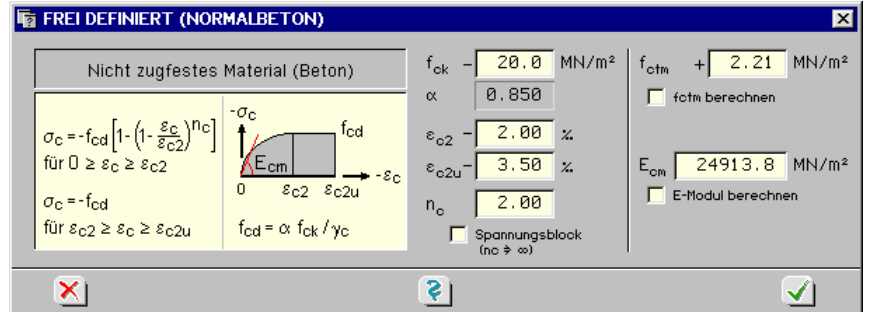
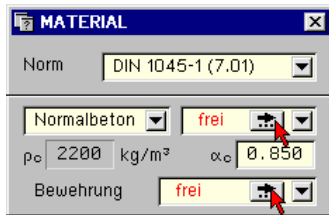


Bei der Bemessung im Grenzzustand der Tragfähigkeit wird stets ein normalduktiler Betonstahl vorausgesetzt (d.h. $f_{tk}/f_{yk} \geq 1.05$ und $\epsilon_{su} = 25 \text{ ‰}$).

DIN 1045	Der Verlauf der Spannungsdehnungslinie von Betonstählen n. Bild 12 ist linear-konstant. Die Bruchdehnung beträgt $\epsilon_{su} = 50 \text{ ‰}$.
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.

1.3 Benutzerdefinierte Materialien

Außerdem kann eine Bemessung 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

- f_{ck} charakteristische Zylinderdruckfestigkeit nach 28 Tagen in MN/m^2
- ε_{c2} Dehnung beim Erreichen der Festigkeitsgrenze in ‰
- ε_{c2u} Bruchdehnung in ‰
- n_c Exponent der Parabel $\sigma_c = f_{cd} \cdot \left[1 - \left(1 - \varepsilon_c / \varepsilon_{c2} \right)^{n_c} \right]$, für normalfesten Beton 2.0, für hochfesten Beton und Leichtbeton ab einer Güte von C60/75 in Tab. 9 und 10 der DIN 1045-1 geregelt
- f_{ctm} Mittelwert der zentrischen Zugfestigkeit in MN/m^2
- E_{cm} Elastizitätsmodul (Sekantenmodul) in MN/m^2

Bewehrung

- f_{yk} Streckgrenze, $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s$ in MN/m^2
- f_{tk} Dehngrenze, $f_{td} = f_{tk} / \gamma_s$ in MN/m^2
- ε_{su} Bruchdehnung in ‰
- E_s Elastizitätsmodul in MN/m^2

1.4 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‘.

1.4.1 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. Folgende Parameter gehen in die Bemessung ein:

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

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

$$\varepsilon_{su} = 0.725 \%$$

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

1.4.2 Gitterträger

(nicht ÖN B 4700): Die bei der Herstellung von **Elementdecken** häufig verwendeten Gitterträger können neben der Querkraftbemessung auch bei der Biegebemessung berücksichtigt werden. Die von den genormten Stahlsorten abweichenden Materialdaten sind wie folgt definiert:

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

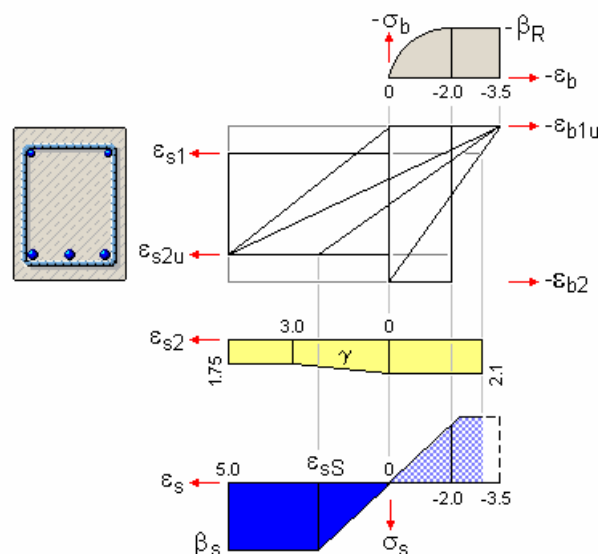
$$\varepsilon_{su} = 2.5 \%$$

$$E_s = 200.000 \text{ N/mm}^2$$

1.5 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.

1.5.1 DIN 1045 (7.88)



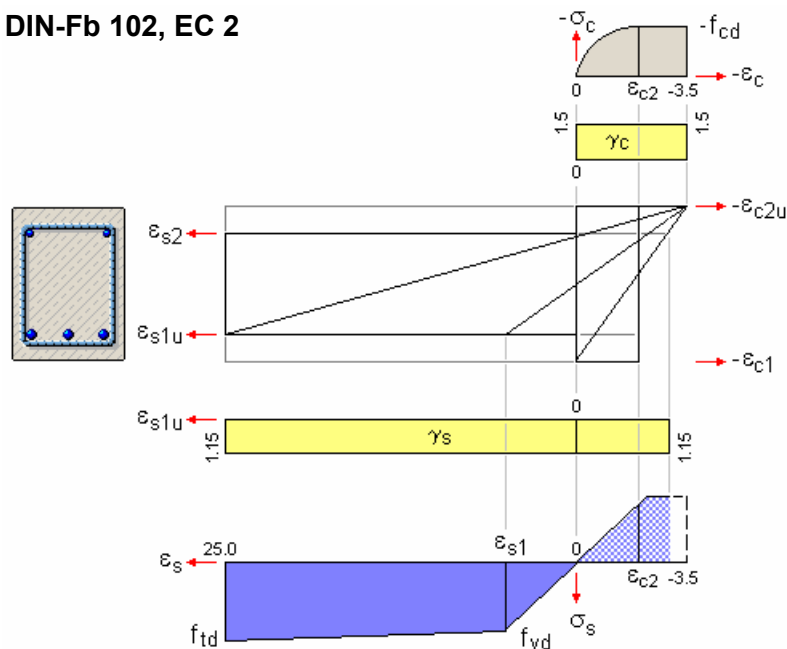
Die Spannungsdehnungsbeziehung für den Beton (grau unterlegt) wird als Parabel-Rechteck idealisiert, für den Betonstahl (blau) wird eine bilineare Spannungsdehnungsbeziehung angenommen, deren Verlauf nach Erreichen der Streckgrenze konstant ist. Der Sicherheitsbeiwert (gelb) variiert in Abhängigkeit der Stahldehnung zwischen 1.75 und 2.1.

Die Stahlbruchdehnung wird mit $\varepsilon_{s2u} = 5\text{‰}$ und die Betonbruchdehnung mit $\varepsilon_{b1u} = -3.5\text{‰}$ (voll überdrückt $\varepsilon_{b1} = -2\text{‰}$) angenommen. Aus Gründen der Wirtschaftlichkeit (variabler Sicherheitsbeiwert) sollte bei höherer Belastung die Stahlbruchdehnung nur zu $\varepsilon_{s2} = 3\text{‰}$ ausgenutzt werden. Bei Bedarf wird programmintern umgeschaltet.

Diese Spannungsdehnungslinien werden nach DIN 1045 (7.88) grundsätzlich auch für die Nachweise im Gebrauchslastzustand mit $\gamma = 1$ angesetzt.

1.5.2

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



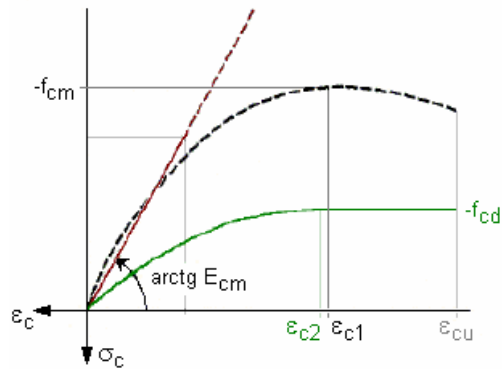
Die Spannungsdehnungsbeziehung für Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit wird für den Beton (grau unterlegt) nach 9.1.6 als Parabel-Rechteck idealisiert, für den Betonstahl (blau) wird nach 9.2.4 eine bilineare Spannungsdehnungsbeziehung angenommen, deren Verlauf nach Erreichen der Streckgrenze 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. Abs. 1.6, Vereinfachter Nachweis der plastischen Rotation, S. 15). 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 Spannungsdehnungsbeziehung 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 Betonverhaltens reagieren.



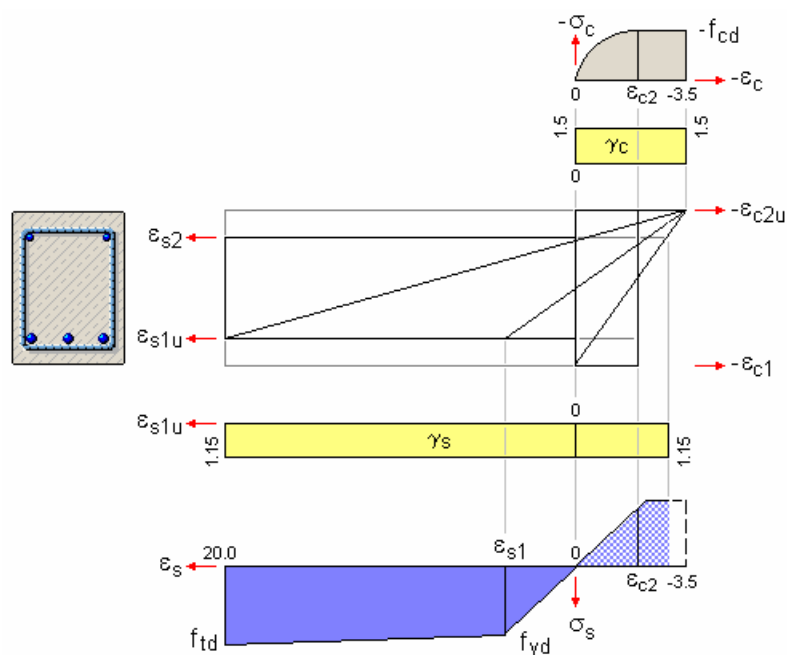
Bei hoher Belastung ($\sigma_c > 0.4 \cdot f_{cm}$) erweist sich das Parabel-Rechteck-Diagramm nach 9.1.6 als zu 'weich', während der lineare Ansatz zu hohe Werte liefert. Die realitätsnahe Abbildung der Spannungsdehnungsbeziehung des Betons nach 9.1.5 berücksichtigt in den geringen Dehnungsbereichen 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.

1.5.3

ÖN B 4700



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 (s. Abs. 1.6, Vereinfachter Nachweis der plastischen Rotation, S. 15). 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.

1.6 Vereinfachter Nachweis der plastischen Rotation

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

$$k_x = x/d \leq 0.45 \quad \text{für Beton bis zur Festigkeitsklasse C50/60}$$

$$k_x = x/d \leq 0.35 \quad \text{für Beton ab der Festigkeitsklasse C55/67 und Leichtbeton}$$

für Balken (wirtschaftlich):

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

Bei Bedarf kann für Balken der Grenzwert $\lim k_x$ variiert werden.

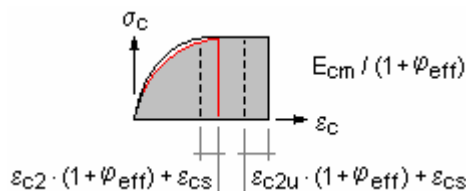
Die Einhaltung der Druckzonenhöhe erfolgt jedoch nur, wenn

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

d.h. wenn in Stahlfaser 2 wenigstens ε_{yd} ausgenutzt wird. Falls sich kein Gleichgewichtszustand findet, wird programmintern auf 'einlagige' Bewehrungsanordnung umgeschaltet.

1.7 Kriechen und Schwinden

Nachweise, die im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit geführt werden oder bei denen die Spannungsermittlung entscheidend ist, 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, nur DIN 1045-1) berücksichtigt werden:



Kriechzahl und Schwindmaß

Kriechzahl berechnen $\varphi_{eff} = 1.79$

Schwindmaß berechnen $\varepsilon_{cs} = 0.570 \%$

Zementfestigkeitsklasse: 32,5 R

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

der Trocknung ausgesetzt

Querschnittsumfang $u = 0.0$ cm

Querschnittsfläche $A_c = 0.0$ cm²

$h_0 = 2 \cdot A_c / u = 10.0$ cm

Belastungsbeginn $t_{0k} = 28$ d

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

- Kriechen: Vergrößerung der Dehnungen ε_{c2} , ε_{c2u} (Verringerung des E-Moduls) um den Faktor $(1+\varphi_0)$
- Schwinden: Verringerung der Dehnungen um das Maß ε_{cs} .

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

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 Bemessungseinwirkungskomb.).

2

Biege- und Normalkraftbemessung

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 unter Abs. 15, S. 62, zu finden.



Anmerkungen zur DIN 1045-1: Die neueste Ausgabe der Norm (August 2008) ist derzeit noch nicht eingeführt, kann aber in *pcae*-Programmen bereits zur Bemessung herangezogen werden. Unterschiede gegenüber der Ausgabe Juli 2001 sind besonders gekennzeichnet.

Anmerkungen zum EC 2: Der deutsche Nationale Anhang des Eurocodes wird in den *pcae*-Programmen derzeit nicht unterstützt. Sämtliche Parameter, die nicht frei eingebbar sind, folgen somit der Empfehlung des Eurocodes.

2.1 Anforderungen an die Bewehrungsanordnung

2.1.1 DIN 1045, 17.2

Nach 25.2.2.1 ist bei Druckgliedern ein minimaler Bewehrungsgrad von 0.8 % des **statisch erforderlichen Querschnitts** zu berücksichtigen. Im Programm kann dieser Mindestbewehrungsgrad frei eingestellt werden.

Soll bei der Bemessung eine **Grundbewehrung** berücksichtigt werden, ist der vorhandene Bewehrungsquerschnitt mit A_{s0} bzw. μ_0 anzugeben.

2.1.2 DIN 1045-1, 10.2 / DIN-Fb 102, 4.3.1

Zur Sicherstellung eines duktilen Bauteilverhaltens ist bei überwiegend biegebeanspruchten Bauteilen nach 13.1.1(1) eine **Mindestbewehrung (Robustheitsbewehrung)** vorzusehen. Hierzu wird bei der Extremierung ein zusätzlicher Lastfall für das Rissmoment $M_{cr} = f_{ctm} \cdot W_c$ angesetzt und mit f_{yk} bemessen.

Die Mindestbewehrung für Stützen (stabförmige Druckglieder) beträgt nach 13.5.2(1)

$$A_{s,min} = 0.15 \cdot |N_{Ed}| / f_{yd}$$

Abweichend von DIN 1045-1 muss nach DIN-Fb 102, 5.4.1.2.1(1)*P außerdem eingehalten werden

$$A_{s,min} \geq 0.003 \cdot A_c$$

Für Wände ist Abschnitt 13.7.1(3) zu berücksichtigen, in dem gefordert wird, dass die lotrechte Bewehrung

$$A_{s,min} = 0.0015 \cdot A_c \quad \text{für} \quad |N_{Ed}| < 0.3 \cdot f_{cd} \cdot A_c$$

$$A_{s,min} = 0.0030 \cdot A_c \quad \text{für} \quad |N_{Ed}| \geq 0.3 \cdot f_{cd} \cdot A_c$$

nicht unterschreitet. Allerdings darf nach DIN 1045-1 (8.08) die Mindestbewehrung auch belastungsabhängig wie für Stützen ermittelt werden:

$$A_{s,min} = 0.15 \cdot |N_{Ed}| / f_{yd} \geq 0.0015 \cdot A_c$$

2.1.3 EC 2, 6.1

Zur Vermeidung schlagartigen Versagens ist bei überwiegend biegebeanspruchten Bauteilen nach 9.2.1.1(1) eine Mindestbewehrung vorzusehen.

$$A_{s,min} \geq 0.26 \cdot f_{ctm} / f_{yk} \geq 0.0013 \cdot b_t \cdot d$$

Die Mindestbewehrung für Stützen (stabförmige Druckglieder) beträgt nach 9.5.2(2)

$$A_{s,min} = 0.10 \cdot |N_{Ed}| / f_{yd} \geq 0.002 \cdot A_c$$

Für Wände ist Abschnitt 9.6.2(1) zu berücksichtigen, in dem gefordert wird, dass die vertikale Bewehrung

$$A_{s,\min} = 0.002 \cdot A_c \quad \text{nicht unterschreitet.}$$

2.1.4 **ÖN B 4700, 3.4.2**

Zur Sicherstellung eines duktilen Bauteilverhaltens ist bei überwiegend biegebeanspruchten Bauteilen nach 3.4.9.4(1) eine Mindestbewehrung vorzusehen.

$$A_{s,\min} \geq 1.22 \cdot (b_t \cdot h_t) / f_{yd} \geq 0.0028 \cdot b_t \cdot h_t \quad \text{bis Ö-B 40}$$

$$\text{für Ö-B 50} \quad A_{s,\min} = 1.15 \cdot A_{s,\min}$$

$$\text{für Ö-B 60} \quad A_{s,\min} = 1.30 \cdot A_{s,\min}$$

Zwischenwerte sind zu interpolieren.

Die Mindestbewehrung für Stützen (stabförmige Druckglieder) beträgt nach 3.4.9.2

$$A_{s,\min} = 0.15 \cdot |N_{Ed}| / f_{yd} \geq 0.0028 \cdot A_c$$

Für Wände ist Abschnitt 3.4.9.3 zu berücksichtigen, in dem gefordert wird, dass die gesamte Bewehrung in Druckrichtung

$$A_{s,\min} = 0.0028 \cdot A_c \quad \text{nicht unterschreitet.}$$

2.2 **Bemessung**

In Abhängigkeit der jeweiligen Schnittgrößenkombination werden Zug- und Druckrand bestimmt sowie die vorgegebene Bewehrungsanordnung überprüft. Lässt sich kein eindeutiger Zug-/Druckrand definieren (zentrisch belasteter Querschnitt mit einer bezogenen Ausmitte Druck: $e/d < 0.35$, Zug: $e/d < 0.20$ mit $e = |M/N|$), muss die Bewehrung oben und unten symmetrisch eingelegt werden. Soll ein **unbewehrter Querschnitt** (s. Abs. 12, S. 57) bemessen werden, kann lediglich die **bezogene Tragfähigkeit** (Sicherheitsnachweis) des Betonquerschnitts ermittelt werden.

Für jeden Lastfall wird unter Berücksichtigung des minimalen (Mindestbewehrung) und maximalen Bewehrungsgrades die erforderliche Längsbewehrung bestimmt. Werden sämtliche Lastfälle fehlerfrei bemessen, ergeben sich die maximal erforderlichen Bewehrungsquerschnitte oben und unten zu erf A_{s0} und erf A_{su} . Da n. DIN 1045 (7.88) der Sicherheitsbeiwert γ variabel ist, wird dieser stets protokolliert.

Außerdem werden die Bruchdehnungen

$$\text{DIN 1045 (7.88)} \quad \varepsilon_{b1u}, \varepsilon_{s2u}, \varepsilon_{b2u},$$

$$\text{DIN 1045-1} \quad \varepsilon_{c2u}, \varepsilon_{s1u}, \varepsilon_{c1u}$$

sowie die Hilfsbeiwerte für die Höhe der Druckzone $k_x = \varepsilon_{b1} / (\varepsilon_{b1} - \varepsilon_{s2}) = x / h_{\text{stat}}$, der innere Hebelarm $k_z = z / h_{\text{stat}}$ und die statische Höhe h_{stat} und (bei Kreisquerschnitten) die effektive Breite b_w angegeben.

Ergibt die Extremierung der Bewehrungsquerschnitte unter Berücksichtigung einer benutzerdefinierten Grundbewehrung A_{s00} bzw. A_{s0u} eine Überschreitung des maximal zulässigen Bewehrungsgrades, erfolgt im Ergebnisausdruck ein entsprechender Hinweis.

3 Querschnittsausnutzung / Brandschutz von Druckgliedern

Die Querschnittsausnutzung wird für den schlussendlich erforderlichen Bewehrungsquerschnitt über den Sicherheitsnachweis ermittelt ($U = 1/t$). Die zugrunde liegenden Schnittgrößenkombinationen resultieren aus dem Grenzzustand der Tragfähigkeit (Biegebemessung).

Für vorwiegend auf Druck beanspruchte Querschnitte wird überprüft, ob die Bewehrung für einen Brandschutznachweis (Einteilung in Feuerwiderstandsklassen n. DIN 4102-4) ausreicht. Dazu muss n. **DIN 41022-22** der Ausnutzungsfaktor

$$\alpha_1 = (S_{fi,d,t} / S_{Rd}) \cdot \alpha^* \leq \text{zul}\alpha_1 \quad \text{mit}$$

$S_{fi,d,t}$ Bemessungswert der vorhandenen Schnittgrößenkombination (N,M) im Brandfall nach DIN 1055-100

S_{Rd} Bemessungswert der Tragfähigkeit nach DIN 1045-1

α^* Faktor aus Bild 15a, DIN 4102-22, vereinfachend $\alpha^* = 2$

zul α_1 maximal möglicher Ausnutzungsfaktor, i.A. $\text{zul}\alpha_1 = 1$.

als Eingangswert in die Tabellen ermittelt werden. Ist $\alpha_1 > \text{zul}\alpha_1$, wird die Bewehrung so lange iterativ erhöht (S_{Rd} vergrößert) bis $\alpha_1 = \text{zul}\alpha_1$ ist. Mit diesem α_1 -Wert kann dann für Stützen nach Tab. 31, für Wände nach Tab. 35 (1-seitige Brandbeanspruchung), DIN 4102-4, die Feuerwiderstandsklasse ausgegeben.

Im umgekehrten Fall kann die Einhaltung einer bestimmten Feuerwiderstandsklasse u.A. über zul α_1 gesteuert werden.

Nach neuen Erkenntnissen (s. Technische Regeln zum Brandschutz, BK 2007 T.2 bzw. Fingerloos/Richter) kann bei der Stützenbemessung auf den Faktor α^* verzichtet werden, wenn die geänderte Tab. 31 zur Benennung der Feuerwiderstandsklasse herangezogen wird. Wird der Faktor α^* zu Null gesetzt, muss die Stützenlänge im Brandfall l_{col} vorgegeben werden. Der maximal zulässige Ausnutzungsfaktor darf dann $\text{zul}\alpha_1 = 0.7$ nicht übersteigen.

Kann die Tabelle nicht angewandt werden, wird eine Fehlermeldung ausgegeben.

4 Brandbem. n. DIN EN 1992-1-2 (EC 2 für Brandbeanspruchung)

Nach EC 2 ist es gegenwärtig möglich, ein Verfahren zur Bestimmung einer adäquaten Leistungsfähigkeit eines Bauteils (Standhalten gegenüber einer Brandeinwirkung) durchzuführen. In den **pcae**-Programmen sind derzeit zwei Verfahren anwendbar:

- ein 'vereinfachtes Rechenverfahren' n. 4.2 (Zonenmethode nach Anhang B.2)
- ein 'vereinfachtes allgemeines Rechenverfahren' in Anlehnung an 4.3

Beide Verfahren basieren auf einer thermischen Analyse des Bauteils unter Berücksichtigung thermischer Einwirkungen und temperaturabhängiger Materialeigenschaften.

Die Temperaturprofile in einem Stahlbetonbauteil werden ohne Mitwirkung der Bewehrung ermittelt. Die mechanische Analyse baut auf den temperaturabhängigen Veränderungen der mechanischen Materialeigenschaften - auch der thermisch bedingten Dehnungen und Spannungen (Eigenspannungszustände) - auf. Die Einwirkungskombination infolge Brandbeanspruchung ist 'außergewöhnlich' und wird mit charakteristischen Materialkennwerten $\gamma_c = \gamma_s = 1$ bemessen. Kriechen und Schwinden sind unmaßgeblich.

4.1 Thermische Analyse

Die instationäre Wärmetransportgleichung ist eine partielle Differentialgleichung 2. Ordnung 1. Grades. Sie gehört zur Kategorie der parabolischen Differentialgleichungen.

$$c \cdot \rho \cdot \frac{\partial \vartheta}{\partial t} + \operatorname{div}(-\lambda \cdot \operatorname{grad} \vartheta) = \varphi \quad \text{mit}$$

$$\vartheta(\vec{x}, t) \quad \text{Temperatur [}^\circ\text{K]}$$

$$t \quad \text{Zeit [s]}$$

$$\operatorname{div}(\dots), \operatorname{grad}(\dots) \quad \frac{\partial}{\partial \vec{x}}(\dots)$$

$$\vec{x} \quad \text{Ortskoordinaten [m]}$$

$$\lambda(\vec{x}, \vartheta) \quad \text{Wärmeleitfähigkeit [W/(m} \cdot \text{K)]}$$

$$c(\vec{x}, \vartheta) \quad \text{spezifische Wärme [kJ/(kg} \cdot \text{K)]}$$

$$\rho(\vec{x}, \vartheta) \quad \text{Dichte [kg/m}^3\text{]}$$

$$\varphi(\vec{x}, t, \vartheta) \quad \text{Wärmequelleneigiebigkeit [kJ/(m}^3 \cdot \text{K)]}$$

Es handelt sich um ein Anfangs-Randwertproblem:

$$\text{Anfangsbedingung} \quad \vartheta(t=0) = \vartheta_0$$

$$\text{Dirichlet'sche Randbedingung} \quad \vartheta(\vec{x} = \vec{x}_g) = \bar{\vartheta}$$

$$\text{Neumann'sche Randbedingung} \quad q(\vec{x} = \vec{x}_n) = -\lambda \cdot \frac{\partial \vartheta}{\partial n}$$

$$\text{Konvektive Randbedingung} \quad q(\vec{x} = \vec{x}_q) = \alpha \cdot (\vartheta - \bar{\vartheta})$$

$$\text{Strahlungs-Randbedingung} \quad v(\vec{x} = \vec{x}_v) = \varepsilon \cdot \sigma \cdot (\vartheta^4 - \bar{\vartheta}^4)$$

$$\alpha \quad \text{konvektiver Wärmeübergangskoeffizient [W/(m}^2 \cdot \text{K)]}$$

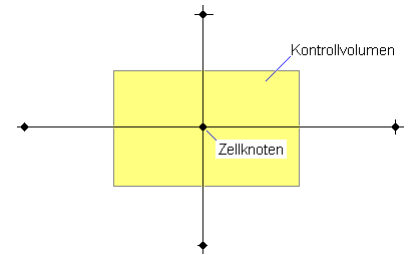
$$\varepsilon \quad \text{Emissionswert}$$

$$\sigma = 5.6704 \cdot 10^{-8} \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K}^4) \quad \text{Stefan-Boltzmann-Konstante}$$

Die Wärmetransportgleichung für den Brandfall berücksichtigt nicht die Dirichlet'sche und Neumann'sche Randbedingung, da am Querschnittsrand weder eine definierte Temperatur noch ein bestimmter Temperaturstrom vorgegeben werden kann. Es wird über Konvektion und Strahlung eine zeitlich veränderliche Brandkurve eingesteuert. Derzeit ist in den **pcae**-Programmen die Einheits-Temperatur-Zeitkurve (s. z.B. DIN 4102 T.2, 6.2.4) implementiert:

$$\bar{\vartheta}(t) = 20 + 345 \cdot \log_{10}(8 \cdot t + 1) \quad \text{mit } t [\text{min}] \text{ und } \vartheta [^{\circ}\text{C}]$$

Die allgemeine Lösung kann nur mit Hilfe von Näherungsverfahren ermittelt werden. In den **pcae**-Programmen kommt eine semidiskrete Finite-Volumen-Formulierung (FVM) zur Anwendung, d.h. die Ortsdiskretisierung erfolgt durch die finite Volumenmethode, während in Zeitrichtung ein explizites Differenzenverfahren angewandt wird. Vorteilhaft an FVM ist die lokale Konservativität (hier: Temperatur- bzw. Energieerhaltung) um jeden Zellknoten herum, da die Differentialgleichung in jedem Kontrollvolumen erfüllt sein muss.

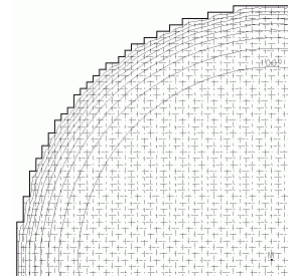


Zunächst wird der Querschnitt diskretisiert; es wird ein rechteckiges Gitter zu Grunde gelegt. Für jeden Gitterknoten (Zellknoten) wird ein Kontrollvolumen definiert, über dem die Differentialgleichung integriert wird.

Beispiel einer Kreisdiskretisierung (Ausschnitt):

Je feiner der Querschnitt durch finite Volumen aufgelöst wird, desto glatter können die Isolinien der Temperatur ermittelt werden.

Diese Genauigkeit ist allerdings in den meisten Fällen nicht erforderlich.



Es ist üblich, das Kontrollvolumen aus den Vertikalen der Mittelpunkte der Zellkanten zu bilden.

Die Zeitdiskretisierung erfolgt explizit mit konstanten Zeitschritten, daher ist als Stabilitätsbedingung das Neumann-Kriterium einzuhalten:

$$Ne = \frac{\lambda(t) \cdot \Delta t}{\min(\Delta x^2, \Delta y^2)} \leq 0.5$$

Der Zeitschritt wird automatisch an die Gegebenheiten angepasst.

Folgende Parameter sind festzulegen:

Brandseiten	<input type="checkbox"/> oben	<input checked="" type="checkbox"/> unten	<input checked="" type="checkbox"/> links	<input checked="" type="checkbox"/> rechts
Beflammungsdauer	t_{\max}	<input type="text" value="60"/> min		
Anfangsfeuchte (Beton)		<input type="text" value="1.5"/> %		
therm. Leitfähigkeit (Beton)	<input type="radio"/> obere Grenze	<input checked="" type="radio"/> untere Grenze		
Zuschlagstoff (Beton)	<input checked="" type="radio"/> Quarz	<input type="radio"/> Kalkstein		
Rohdichte (Stahlbeton)	ρ_c	<input type="text" value="2300"/> kg/m ³		
konvekt. Wärmeübergang	α	<input type="text" value="25.0"/> W/m ² K		
Emissionswert	ϵ	<input type="text" value="0.70"/>		
Vorschrift	<input checked="" type="radio"/> DIN EN 1992-1-2 (10.06)	<input type="radio"/> DIN ENV 1992-1-2 (5.97)		
Rechengenauigkeit	<input type="radio"/> gering	<input checked="" type="radio"/> mittel	<input type="radio"/> hoch	

- Die Brandseiten eines Rechteckquerschnitts beziehen sich auf das lokale Koordinatensystem (s. Grafik). Bei zweiachsiger Bemessung kann willkürlich gewählt werden.
- Die Beflammungsdauer steuert die zu erstrebenden Feuerwiderstandsklasse. R 90 entspricht z.B. einer Branddauer von $t_{\max} = 90$ min.
- Die Anfangsfeuchte des Betons hemmt die Ausbreitungsgeschwindigkeit der hohen Temperaturen. Sie geht in die Ermittlung der spezifischen Wärme ein.
- Im EC 2 werden zwei Kurven zur Bestimmung der thermischen Leitfähigkeit des Betons angeboten, die im Programm frei wählbar sind. Nach Anhang A(2) ergibt der untere Grenzwert realistischere Betontemperaturen als der obere.
- Der Zuschlagstoff des Betons beeinflusst das Querschnittsverhalten und ist daher stets mit anzugeben.
- Die Rohdichte von Stahlbeton enthält auch den Anteil der Bewehrung und ist daher stets gleich oder größer als die Dichte des Betons.

- Die Temperatur wird über Konvektion und Strahlung in den Querschnitt eingeleitet. Hierzu sind die entsprechenden Parameter des konvektiven Wärmeübergangs und der Emissionswert einzugeben. Werden sowohl α als auch ε mit Null belegt, wird die Temperatur als Dirichlet'sche (direkte) Randbedingung aufgebracht.
- Es besteht die Möglichkeit, die Stoffparameter auch nach der Vornorm des EC 2 (DIN ENV 1992-1-2 (5.97)) berechnen zu lassen.
- Die Berechnung des Temperaturprofils kann - besonders bei kleinen Querschnitt und hohen Branddauern - viel Zeit benötigen, da der Zeitschritt von der Größe des Kontrollvolumens abhängt. Daher besteht die Möglichkeit, die Rechengenauigkeit zu beeinflussen.

4.2 Mechanische Analyse - Bemessungsverfahren

Die Brandursache führt zu einer nichtlinearen Änderung der Materialkennwerte über den Querschnitt. Allgemeine Bemessungsverfahren definieren daher im Querschnitt mehrere Betonbereiche, jeder mit etwa gleicher mittlerer Temperatur (gleichen Materialwerten), und erfassen dadurch die tragwirksamen Bereiche zuverlässig. Der kalte innere Bereich und die heiße Randzone wirken beim Lastabtrag nicht mit. Basierend darauf wurden Näherungsverfahren entwickelt, die den ingenieurmäßigen Anforderungen Rechnung tragen. Der Betonquerschnitt wird dabei mit einer gleichmäßigen Temperaturerhöhung beaufschlagt, die das wirkliche Tragverhalten bestmöglich wiedergibt. Die Temperatur in der Bewehrung kann genau genug im Zentrum des Bewehrungsstahls angenommen werden.

4.2.1 Zonenmethode

Das Zonenverfahren basiert auf der Annahme einer beidseitig beflamten Modellwand. Der Querschnitt wird in eine festgelegte Anzahl von n Zonen gleicher Breite eingeteilt. Im zentralen Horizontalschnitt wird für jede Zone i die Mittentemperatur $\theta_{c,i}$ und daraus der Reduktionsbeiwert $k_{c,i} = f_{c\theta,i}/f_{ck,i}$ ermittelt. Über

$$k_{cm} = \frac{1-0.2/n}{n} \cdot \sum_{i=1}^n k_{c,i}$$

kann dann eine mittlere Betontemperatur θ_{cm} berechnet werden, die gleichmäßig in dem um

$$a_z = w \cdot \left[1 - \frac{k_{cm}}{k_c(\theta_M)} \right] \quad \text{bei Balken, Platten oder}$$

$$a_z = w \cdot \left[1 - \left(\frac{k_{cm}}{k_c(\theta_M)} \right)^{4/3} \right] \quad \text{bei Stützen, Wänden}$$

<input checked="" type="radio"/> Zonenverfahren	
Anzahl Zonen	<input type="text" value="10"/>
Tragverhalten	<input type="radio"/> Balken/Platte
	<input checked="" type="radio"/> Stütze/Wand
<input checked="" type="checkbox"/> Verfahren n. Cyllok/Achenbach	

reduzierten Querschnitt gilt. Die Breite w entspricht der halben Modellwandbreite, $k_c(\theta_M)$ ist der Reduktionskoeffizient für Beton in der Mittelachse der Modellwand.

Die Bemessung erfolgt im Grenzzustand der Tragfähigkeit.



Mit dem Zonenverfahren können nur Rechteck- oder Kreisquerschnitte bemessen werden.

In **pcae**-Programmen wird die Betontemperatur je Zone über deren Breite gemittelt. Daher kann der Korrekturfaktor $1 - 0.2/n$ zur Berechnung des mittleren Reduktionsfaktors k_{cm} entfallen. Zudem besteht die Möglichkeit, den a_z -Wert vorzugeben (z.B. nach EC 2, Anhang B.2, Bild B.5, oder Vornorm des EC 2 (ENV), Anhang B, Bild B.3).

Zur Bemessung wird die über den reduzierten Querschnitt integrierte, mittlere Betontemperatur herangezogen. Optional kann auch die Temperatur des kältesten Querschnittspunktes (Mittelpunkt) herangezogen werden. Für diese Temperatur wird über den Beiwert k_c die charakteristische Druckfestigkeit unter Hochtemperaturbelastung bestimmt.

Die Temperatur der Bewehrung kann genügend genau im Schwerpunkt des Betonstahls angenommen werden. Sie beeinflusst den Abfall der charakteristischen Zug- und Druckfestigkeit f_{yk} der Bewehrung. Näherungsweise und auf der sicheren Seite liegend wird der Abminderungsbeiwert k_s der Bewehrung immer für gedrückten Stahl angesetzt.

Die Form der Spannungsdehnungslinien kann entweder analog der Kaltbemessung oder nach EC 2 (Brandfall, Kap. 3.2 bzw. ENV, Anhang A) gewählt werden. Um die inneren Spannungen aus Temperatur zu berücksichtigen, werden die Spannungsdehnungslinien in Abhängigkeit ihrer Temperatur vorgestaucht, d.h. die Spannungsdehnungslinien werden um den Wert $\varepsilon_{V,\theta}$ verschoben.

Cylok/Achenbach (s. Literatur) nehmen für die Bemessungstemperatur des Betons die Temperatur im Mittelpunkt des Querschnitts $\theta_M \geq 100^\circ\text{C}$ an. Die Form der Spannungsdehnungslinien entspricht dem EC 2 (Brandfall), wobei die Spannungsdehnungslinie der Bewehrung auf der Druckseite eine Druckspannungsreduktion von $\Delta\sigma = 0.2\% \cdot E_{s,\theta}$ erfährt.

⊙ allgemeines Rechenverfahren
 krit. Temperatur θ_{crit} °C

4.2.2

Vereinfachtes allgemeines Rechenverfahren

Dieses Verfahren bietet eine Möglichkeit, auch allgemeine Querschnittsformen brandschutztechnisch zu beurteilen. Wie zuvor besteht das Problem in der Bestimmung der mittleren Betontemperatur und der geschädigten Randzone.

Die geschädigte Randzone sei der Bereich des Querschnitts, in dem die Temperatur einen kritischen Wert übersteigt. Sie kann vom Benutzer vorgegeben werden.

pcae empfiehlt $\theta_{\text{crit}} = 500^\circ\text{C}$.

Die Betontemperatur wird wie beim Zonenverfahren über den reduzierten Querschnitt aufintegriert. Ebenso können die Spannungsdehnungslinien nach der Kaltbemessung oder EC 2 (Brandfall) angenommen werden.

Die Bemessung erfolgt im Grenzzustand der Tragfähigkeit.

Bei hochfestem Beton (von C55/67 bis C90/105) wird eine Reduzierung der Festigkeit nach EC 2, Tabelle 6.1N, vorgenommen.

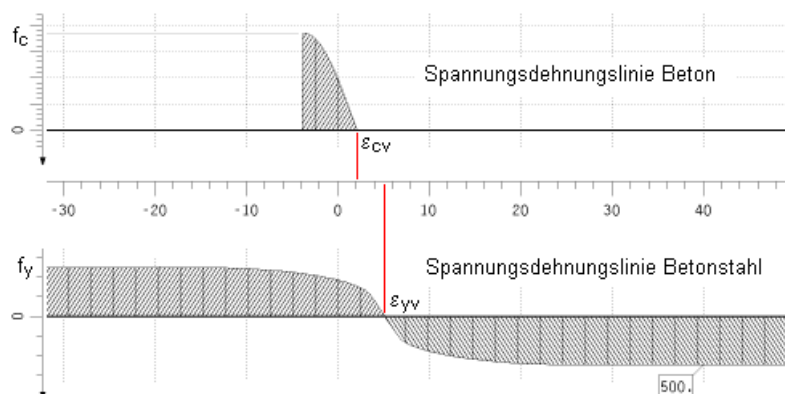
Der unwirksame Querschnittsbereich ermittelt sich nach dem vereinfachten allgemeinen Rechenverfahren zu $a_z = k \cdot a_{500}$, mit k aus dem Nationalen Anwendungsdokument.

Der empfohlene Wert ist 1.1 für Klasse 1 und 1.3 für Klasse 2. Die empfohlene Klasse für Beton C55/67 und C60/75 ist Klasse 1, für Beton C 70/85 und C 80/90 ist Klasse 2 und für Beton C 90/105 ist Klasse 3.

4.3

Spannungsdehnungsbeziehungen unter Hochtemperaturbelastung

Die Verformungen spielen bei den Nachweisen zur Heißbemessung eine wesentliche Rolle. Da sich Beton und Stahl in unterschiedlichen Temperaturbereichen befinden und unterschiedliches Dehnungsverhalten aufweisen, führt eine Erwärmung des Materials auch zu unterschiedlichen thermischen Dehnungen. Dadurch ergeben sich im Querschnitt Eigenspannungen, die bei der Definition der Spannungsdehnungsbeziehungen zu berücksichtigen sind. In den **pcae**-Programmen wird die temperaturbedingte Dehnung als Vorverformung $\varepsilon_{V,\theta}$, bei unsymmetrischen Zuständen auch als Vorkrümmung des Betonquerschnitts, definiert.



Außerdem wird nicht - wie im EC 2 vorgeschlagen - der Bruchzustand (Beton $\varepsilon_{cu1,9}$ bzw. Betonstahl $\varepsilon_{su,9}$) als Grenzzustand angenommen sondern bereits das Erreichen der maximalen Festigkeit (Beton $\varepsilon_{c1,9}$ bzw. Betonstahl $\varepsilon_{st,9}$).

Die 'heiße' Betonstahllinie verdient besondere Beachtung, da sie nach Erreichen der Proportionalitätsgrenze einen aufweichenden Bereich bis zur Streckgrenze enthält. In gedrückten Querschnitten fällt aufgrund der Vordehnungen die Bruchdehnung der Betonkennlinie in eben diesen Bereich der Betonstahllinie. Dieser Umstand führt i.A. zu höheren Bewehrungsgehalten.

5 Druckzonendicke / Nachweis der Dichtigkeit

Nach den DAfStb-Richtlinien "Wasserundurchlässige Bauwerke" und "Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen" ist die Wasserundurchlässigkeit des Betons im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (GZG) nachzuweisen. Die Dichtigkeit wird nachgewiesen über

- Nachweis der Dichtigkeit in ungerissenen Bereichen
- Nachweis der Mindestdruckzonendicke
- Rissbreitennachweis als Dichtigkeitsnachweis

5.1 DAfStb-Richtlinien "Wasserundurchlässige Bauwerke"

Der Nachweis der Dichtigkeit des Betons ist mit den Bemessungsgrößen aus der "häufigen" Einwirkungskombination nach DIN 1055-100 zu führen ist. Der Nachweis der Dichtigkeit in ungerissenen Bereichen entfällt.

5.1.1 Nachweis der Mindestdruckzonendicke

Die Druckzonendicke im Zustand 2 wird für den schlussendlich erforderlichen Bewehrungsquerschnitt aus dem Dehnungszustand ermittelt.

Für den Dichtigkeitsnachweis ist zu belegen:

$$x^{\parallel} \geq \text{zul } x_D \quad \text{mit}$$

x^{\parallel} geringste Dicke der ungerissenen Zone im Zustand 2
zul x_D zulässige minimale Druckzonendicke

5.1.2 Rissbreitennachweis als Dichtigkeitsnachweis

Alternativ kann ein Rissbreitennachweis zur Begrenzung der Biegerisse mit der zulässigen Rissbreite nach Tab. 2, DAfStb-Richtlinie, durchgeführt werden. Dieser Nachweis wird in Abs. 7, S. 39 ff., beschrieben.

5.2 DAfStb-Richtlinien "Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen"

Die Einwirkungskombination vor der Beaufschlagung entspricht der "seltenen" Kombination nach DIN 1055-100, während der Beaufschlagung ist die "quasi-ständige" Kombination anzusetzen.

5.2.1 Nachweis der Dichtigkeit in ungerissenen Bereichen

Zur Sicherstellung der Dichtigkeit muss gelten

$$h \geq \gamma_e \cdot e_{tk} \quad \text{mit } \gamma_e \text{ Sicherheitsbeiwert für die Eindringtiefe } e_{tk}.$$

Der Nachweis darf nur in Bereichen angewandt werden, in denen gilt

$$\frac{\text{vorh } \sigma_{cN}}{f_{ctk;0.05} / \gamma_c} + \frac{\text{vorh } \sigma_{cM}}{f_{cbk;0.05} / \gamma_c} \leq 1.0 \quad \text{mit}$$

vorh σ_{cN} , vorh σ_{cM} maximale Betonzugspannung am Rand im Zustand 1 für Normalkraft, Biegemoment

$f_{ctk;0.05}$ charakteristischer Wert der zentrischen Betonzugfestigkeit

$f_{cbk;0.05}$ charakteristischer Wert der Biegezugfestigkeit des Betons mit

$$f_{cbk;0.05} = (1 + 0.13 \cdot \sqrt{1/h}) \cdot f_{ctk;0.05} ; h \text{ in m}$$

γ_c Sicherheitsbeiwert für das Betontragverhalten

5.2.2 Nachweis der Mindestdruckzonendicke

Die Druckzonendicke im Zustand 2 wird für den schlussendlich erforderlichen Bewehrungsquerschnitt aus dem Dehnungszustand ermittelt.

Für den Dichtigkeitsnachweis ist zu belegen:

$$x^{\parallel} \geq \gamma_e \cdot e_{tk} \quad \text{mit}$$

x^{\parallel}	geringste Dicke der ungerissenen Zone im Zustand 2
γ_e	Sicherheitsbeiwert für die Eindringtiefe e_{tk}

5.2.3 Rissbreitennachweis als Dichtigkeitsnachweis

Die Rissbreite ist unter Berücksichtigung der im Fall der Medienbeaufschlagung wirksamen Beanspruchungen unter Gebrauchslasten zu begrenzen auf

$$w_{cal} \leq w_{crit} / \gamma_r \quad \text{mit}$$

$w_{crit}(h,t)$	kritische Rissbreite
γ_r	Sicherheitsbeiwert für die Rissbreite



Dieser Nachweis kann als Rissnachweis (Abs. 7, S. 39 ff.) mit $w_{cal} = w_{crit} / \gamma_r$ geführt werden.

6 Schubbemessung

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 unter Abs. 15, S. 62, zusammengestellt.



Anmerkungen zur DIN 1045-1: Die neueste Ausgabe der Norm (August 2008) ist derzeit noch nicht eingeführt, kann aber in *pcae*-Programmen bereits zur Bemessung herangezogen werden. Unterschiede gegenüber der Ausgabe Juli 2001 sind besonders gekennzeichnet.

Anmerkungen zum EC 2: Der deutsche Nationale Anhang des Eurocodes wird in den *pcae*-Programmen derzeit nicht unterstützt. Sämtliche Parameter, die nicht frei eingebbar sind, folgen somit der Empfehlung des Eurocodes.

Die Schubbemessung gliedert sich in die Bemessung für Querkraft, Torsion sowie Querkraft + Torsion. Zunächst wird separat für jede Schnittgröße die erforderliche Bügel- (Querkraft $a_{s,bü}$) bzw. Bügel- und Längsbewehrung (Torsion $a_{s,büT}$ und $A_{s,T}$) ermittelt. Anschließend werden die Bewehrungsquerschnitte anteilig ausgewertet.

Die Materialgüte der Schubbewehrung kann unabhängig von der Biegebemessung gewählt werden. Zusätzlich zu den Biegebemessungsmaterialien (Abs. 1, S. 9) steht für senkrecht belastete Flächenträger (Platte, Faltwerk, Rechteckquerschnitt mit Kennung 'Platte'), die nach DIN 1045-1, Fb-102, ÖN B 4700 und EC 2 bemessen werden, die Bewehrungsausführung mit „Gitterträgern“ zur Verfügung (s. Abs. 1.4.2, S. 12). Gitterträger dienen in erster Linie dazu, nachträglich mit Ortbeton ergänzte Deckenplatten (Verbundbauteile n. DIN 1045-1, 13.4.3, s. Abs. 6.2.5, S. 34) wirtschaftlich und komfortabel herzustellen. Sie sind allerdings nicht genormt, daher wird in den *pcae*-Programmen auf zulassungsspezifische Details nicht eingegangen.

6.1 Schubbemessung DIN 1045 (7.88), 17.5

Die Bügelbewehrung steht senkrecht auf der Längsbewehrung. Der Sicherheitsbeiwert für Schub beträgt $\gamma_{Schub} = 1.75$.

Betonstahlgüte der Schubbewehrung BSt 500 S
Nachweistyp Balken
gestaff. Feldbewehrung
k_j für x(Q_{max}) ≠ x(M_{max})
volle Schubdeckung im SB 2
SB 1
Fertigteile mit Ortbeton
In die Zuggurte ausgelagerter Bewehrungsanteil 30 %
schiefe Hauptdruckspannungen nach Grasser (BK'85)
Querschnitt gilt dann als überdrückt, wenn e_{b2u} ≤ 0
e_{s2u} ≤ 0

6.1.1 Querkraftbemessung

Die Querkraftbemessung hängt entscheidend vom Querschnittszustand (Zustand I - ungerissen, voll überdrückt oder Zustand 2 - gerissen) ab.

Bei einem gerissenen Querschnitt wird nach Mörsch zunächst der Grundwert der Schubspannung $\tau_0 = Q/(b_0 \cdot z)$ ermittelt, der von der Lage der Dehnungsnulllinie (k_x und k_z entweder ermittelt aus der Biegebemessung oder unter Annahme eines reinen Biegezustands) abhängig ist. Als wirksame Breite b_0 wird die Querschnittsbreite in Höhe der Dehnungsnulllinie betrachtet. Die einzuhaltenden Grenzen der Grundwerte der Schubspannung (Tab. 13) richten sich danach, ob das Bauteil als **Platte** (keine Querkraftbewehrung im Schubbereich 1) oder als **Balken** (Mindestquerkraftbewehrung im Schubbereich 1) betrachtet wird.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
	Bauteil	Schubbereich	Grenzen der Grundwerte der Schubspannung τ_0 in N/mm ² für Betonfestigkeitsklasse					Schubdeckung		
				B15	B25	B35	B45		B55	
1a	Platten	1*	τ_{011}	0,25	0,35	0,40	0,50	0,55	s. 17.5.5	
1b				0,35	0,50	0,60	0,70	0,80		
2		2	τ_{02}	1,20	1,80	2,40	2,70	3,00	verm. Schubd. Gl. 17 zul.	
3		1	τ_{012}	0,50	0,75	1,00	1,10	1,25	s. 17.5.5	
4	Balken	2	τ_{02}	1,20	1,80	2,40	2,70	3,00	verm. Schubd. Gl. 17 zul.	
5		3	τ_{03}	2,00	3,00	4,00	4,50	5,00	volle Schubd. nur bei d bzw. dg \geq 30 cm	

*Die Werte der Zeile 1a gelten bei gestaffelter, d.h. teilweise im Zugbereich verankerter Feldbewehrung

Tab. 13: Grenzen der Grundwerte der Schubspannung τ_0 in N/mm² unter Gebrauchslast

Bei Platten geht zusätzlich ein, ob die Feldbewehrung „gestaffelt“ eingelegt wird, und ob $\max|Q|$ und $\max|M|$ an der gleichen Stelle auftreten (Faktor k_i). Reduzierte Grenzscherbanspannungen ergeben sich bei einer Ergänzung von **Fertigteilen mit Ortbeton**.

Die Größe von τ_0 ist ausschlaggebend für den Schubbereich und damit für den Bemessungswert τ , für den die Bügelbewehrung $a_{s,bü}$ bestimmt wird.

Für spezielle Anwendungen kann die Schubspannung auch „voll abgedeckt“ werden. Unabhängig von den Schubbereichen wird bei Platten und Balken ohne Abminderung bemessen. Es besteht die Möglichkeit, entweder nur die Schubbereiche 2+3 oder alle Schubbereiche voll abzudecken.

Bei Plattenbalken und Doppel-T-Querschnitten werden die abstehenden Querschnittsteile (Gurte) nach 18.8.5 zusätzlich bemessen. Dazu ist für die Bemessung des Zugflansches der in die Gurte ausgelagerte Bewehrungsanteil anzugeben.

Bei Flächentragwerken (Platte oder Falwerk) sollte möglichst auf eine Schubbewehrung verzichtet werden. Da die Querkraftverteilung i. A. nicht mit der Bewehrungsanordnung übereinstimmt, wird die Hauptquerkraft nachgewiesen und nach Bedarf bemessen. Dazu werden die benötigten Parameter näherungsweise entweder als Minimalwerte sämtlicher zu einem Lastfall gehörenden Transformationskombinationen (Standardfall) oder unter Annahme eines reinen Biegezustands (s. o.) ermittelt.

Ist der Querschnitt überdrückt (d.h. die maximale Stahldehnung ist entweder $\epsilon_{b2} \leq 0$ oder $\epsilon_{s2} \leq 0$, frei eingebbar), wird für die Hauptzugspannung nach Mohr $\tau = \sigma_{11}$ bemessen. Diese ergibt sich für baupraktische Zwecke ausreichend genau zu

$$\sigma_{11} = 0.5 \cdot \left(\sigma_x + \sqrt{\sigma_x^2 + 4 \cdot \tau^3} \right)$$

$$\text{mit } \sigma_x = \frac{N}{A} + \frac{M \cdot z}{I} \quad \text{und} \quad \tau = \frac{Q \cdot S}{I \cdot b}$$

Für eine genauere Berechnung s. Friemann. Außerdem ist bei erfolgreicher Querkraftbemessung der Nachweis der schiefen Hauptdruckspannung (wahlweise nach Heft 400, DAfStb oder nach Grasser (BK '85) unter Berücksichtigung des Heftes 320, DAfStb) zu führen. S. Literaturverzeichnis.

6.1.1.1

Verfahren nach Heft 400, DAfStb

Bei der Berechnung der schiefen Hauptzugspannungen im Zustand 1 wird eine Neigung der Druckstrebe von 45° zugrunde gelegt, so dass sich σ_{11} folgendermaßen berechnet:

$$\sigma_{11} = \tau \geq 0.4 \cdot \tau_0 = \frac{0.4 \cdot Q_m}{b_1 \cdot z_s} \quad \text{mit } z_s = \text{innerer Hebelarm}$$

Bei der Annahme lotrechter Bügel und bei einer empfohlenen Druckfeldneigung von mindestens $\tan \vartheta = 0.4$ berechnet sich die schiefe Hauptdruckspannung im Zustand 2 σ_{211} aus τ_0 zu

$$\sigma_{211} = \frac{\tau_0}{\sin \vartheta \cdot \cos \vartheta} \leq 2.9 \cdot \tau_0$$

Die Begrenzung der Hauptdruckspannung wird n. DIN 1045 (7.88) mit $\sigma_{211} \leq 2 \cdot \tau_{03}$ angegeben.

6.1.1.2 Verfahren nach Grasser und Heft 320, DAfStb

Die Ermittlung der Neigung des Druckfeldes im Zustand 2 erfolgt zu

$$\tan \Theta = \tan \vartheta \cdot \left(1 - \frac{\Delta \tau}{\tau_1} \right) \geq 0.4$$

mit $\Delta \tau = 0.6 \cdot \tau_{02}$, $\tau_1 = \frac{Q_m}{b_1 \cdot z_s}$ und $\tan \vartheta = \frac{\sigma_1}{\tau_1}$

Die Berechnung von σ_{2II} erfolgt bei Annahme lotrechter Bügel wie im Heft 400 mit dem neu berechneten Neigungswinkels Θ

$$\sigma_{2II} = \tau_0 / (\sin \Theta \cdot \cos \Theta)$$

Nach Heft 320 sind auch Neigungswinkel von $\tan \Theta < 0.4$ zugelassen.

6.1.2 Torsionsbemessung

Die Torsionsbemessung ist nur dann durchzuführen, wenn der Grundwert τ_T die Werte $0.25 \cdot \tau_{02}$ (s. Tab. 13) überschreitet. Der Grundwert ist mit den Querschnittswerten nach Zustand 1 zu ermitteln und darf die Werte τ_{02} nicht überschreiten. Aufgrund des gedachten räumlichen Fachwerks mit unter 45° geneigten Druckstreben ergibt sich eine Bügelbewehrung $a_{s,büT}$ und eine Längsbewehrung $A_{s,T}$.

6.1.3 Bemessung für Querkraft und Torsion

Der Nachweis von Querkraft und Torsion ist erfüllt, wenn

$$\frac{\tau_0}{\tau_{03}} + \frac{\tau_T}{\tau_{02}} \leq 1.3 \quad \text{für Bauteildicken} \geq 30 \text{ cm, bzw.}$$

$$\frac{\tau_0 + \tau_T}{\tau_{02}} \leq 1.3 \quad \text{für Bauteildicken} < 30 \text{ cm.}$$

Die Bewehrungsanteile aus den Einzelnachweisen werden folgendermaßen addiert

- Bügelbewehrung $a_{s,bü/2} + 2 \cdot a_{s,büT}$ (für zweischnittige Bügel)
- Längsbewehrung $A_{s,T}$

6.2 Schubbemessung DIN 1045-1, 10.3 u. 10.4 / DIN-Fb 102, 4.3.2 u. 4.3.3 / EC 2, 6.2 u. 6.3 / ÖN B 4700, 3.4.4 u. 3.4.6

Die in die Bemessung eingehenden Schnittgrößen sind Bemessungsgrößen.

Materialgüte der Schubbewehrung		wie Biegebew.
<input type="checkbox"/> Bemessung als Platte		
Neigungswinkel der Bewehrung α	90.0°	Druckstrebenneigungswinkel θ
vorhandene Zugbewehrung		In die Flansche ausgel. Bewehrungsanteil Σ
A_{sI}	0.0 cm ²	0 %
Eintragungslänge a_v		0.00 m
Wirksamkeitsfaktor α_k		Differenzmoment ΔM_{Ed}
1.00		0.00 kNm
<input type="radio"/> z^{II} aus Biegebemessung		<input checked="" type="checkbox"/> $V_{Rd,ct}$ begrenzen
<input checked="" type="radio"/> Annahme: $z^{II} = 0.9 d$		
<input checked="" type="checkbox"/> Kontrolle: $z^{II} \leq d - 2 c_{nom,L}$		mit $c_{nom,L}$
		2.0 cm
<input type="checkbox"/> Schubbewehrung vermeiden (Erhöhung der Längsbew.)		
<input type="checkbox"/> Schubkraftübertragung in Fugen		
<input type="checkbox"/> Torsion: effektive Dicke einer Wand t_{eff}		0.0 cm

6.2.1

Querkraftbemessung

Die Schubbemessung gliedert sich in die Bemessung für Querkraft, Torsion und Querkraft + Torsion. Die Bügelbewehrung kann um den Winkel α gegen die Systemachse geneigt sein.

Zunächst wird der Bemessungswert der Querkrafttragfähigkeit $V_{Rd,ct}$ (Abschn. 10.3.3) berechnet. Wenn der Bemessungswert der Querkraft $V_{Ed} \leq V_{Rd,ct}$ ist, ist rechnerisch keine Querkraftbewehrung erforderlich. Bei überwiegend auf Biegung beanspruchten stabförmigen Bauteilen (Balken) ist jedoch grundsätzlich eine Mindestbügelbewehrung für die Querkraft n. Abschn. 13.2.3(5) anzuordnen.

6.2.1.1

Bemessungswert der ohne Querkraftbewehrung aufnehmbaren Querkraft

$$V_{Rd,ct} = \left[\frac{0.15}{\gamma_c} \cdot \kappa \cdot \eta_1 \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} - 0.12 \cdot \sigma_{cd} \right] \cdot b_w \cdot d \quad \text{mit}$$

γ_c Sicherheitsbeiwert für den Beton

$$\kappa = 1 + \sqrt{200/d} \leq 2.0$$

$$\eta_1 = 0.40 + 0.60 \cdot \rho / 2200 \quad \rho \text{ in kg/m}^3, \text{ für Normalbeton } \eta_1 = 1.0$$

$$\rho_1 = A_{sl} / (b_w \cdot d) \leq 0.02 \quad \text{Längsbewehrungsgrad innerhalb der Zugzone des Querschnitts (überdrückte Querschnitte } \rho_1 = 0 \text{)}$$

b_w wirksame Querschnittsbreite in mm

d statische Nutzhöhe der Biegebewehrung im betrachteten Querschnitt in mm

$$\sigma_{cd} = N_{Ed} / A_c \quad \text{Bemessungswert der Betonlängsspannung im Schwerpunkt in N/mm}^2$$

N_{Ed} Bemessungswert der Längskraft ($N_{Ed} < 0$ als Längsdruckkraft)

Als wirksame Breite b_w wird die minimale Querschnittsbreite in Höhe der resultierenden inneren Schnittgrößen (entweder res. Betondruckkraft oder res. Stahlzugkraft) betrachtet.

Der $V_{Rd,ct}$ -Wert darf auf einen Mindestwert begrenzt werden (nicht DIN 1045-1 (7.01)) von

$$V_{Rd,ct} = \left[\eta_1 \cdot v_{\min} - 0.12 \cdot \sigma_{cd} \right] \cdot b_w \cdot d \quad \text{mit} \quad v_{\min} = \frac{\kappa_1}{\gamma_c} \cdot \sqrt{\kappa^3 \cdot f_{ck}} \quad \text{und}$$

$$\kappa_1 = \begin{cases} 0.0525 & \text{für } d \leq 600 \text{ mm} \\ 0.0375 & \text{für } d \geq 800 \text{ mm} \end{cases}, \text{ dazwischen linear interpolieren}$$

begrenzt werden. Bei einer Bemessung nach DIN 1045-1 (7.01) kann der Mindestwert nach DIN-Fb 102 berücksichtigt werden.

ÖN B 4700

Nach 3.4.4.4(1) darf eine Bewehrung zur Aufnahme der schrägen Zugkräfte entfallen, wenn gilt:

$$V_{Rd,ct} = \left[\tau_d \cdot \kappa_c \cdot (1.2 + 40 \cdot \rho) + 0.15 \cdot \sigma_{cd} \right] \cdot b_w \cdot d \quad \text{mit}$$

τ_d Rechenwert der Schubspannung gemäß Tab. 4. Bei frei gewählten Materialparametern wird τ_d programmintern ermittelt mit $\tau_d = 0.09 \cdot f_{ck}^{1/3}$

$$\kappa_c = 1.0 \quad \text{(vereinfachend)}$$

EC 2

Der Bemessungswert des Querkraftwiderstands ergibt sich n. 6.2.2(1) zu

$$V_{Rd,ct} = \left[C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp} \right] \cdot b_w \cdot d \quad \text{mit mindestens}$$

$$V_{Rd,ct} = \left[v_{\min} + k_1 \cdot \sigma_{cd} \right] \cdot b_w \cdot d \quad \text{mit} \quad \sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c} \leq 0.2 \cdot f_{cd}$$

Dabei können die Faktoren $C_{Rd,c}$, v_{\min} und k_1 einem nationalen Anhang entnommen werden. Voreingestellt sind

$$C_{Rd,c} = 0.18 / \gamma_c \quad v_{\min} = 0.035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} \quad k_1 = 0.15$$

6.2.1.2 Besonderheiten bei einer "Platten"-Bemessung

Bei der Plattenbemessung als rein biegebeanspruchtes Bauteil, das bei $V_{Ed} \leq V_{Rd,ct}$ ohne Mindestbewehrung (13.3.3(2)) auskommt, spielt der Zug-Längsbewehrungsgrad ρ_l eine entscheidende Rolle.

Das Programm bietet mehrere Möglichkeiten, die in die Bemessung eingehende Längsbewehrung zu berücksichtigen. Sie kann entweder vom Anwender direkt vorgegeben (als A_{sl} im Eigenschaftsblatt) oder aus der Biegebemessung unter Berücksichtigung der Grundbewehrung ($A_{sl} = \max(A_s, A_{s0})$) übernommen werden.

Als dritte Möglichkeit bietet das Programm eine automatische Erhöhung der Längsbewehrung an (Aktivierung des Buttons **Schubbewehrung vermeiden**), die nur an den fraglichen Stellen und nur in der notwendigen Höhe die Längsbewehrung (natürlich nur bis zum erlaubten Grenzwert) erhöht.

Zu Besonderheiten bei der Schubbemessung unbewehrter Betonquerschnitte s. Abs. 12, S. 57.

6.2.1.3 Bemessungswert der durch die Tragfähigkeit der Querkraftbewehrung begrenzten aufnehmbaren Querkraft

Wenn gilt $V_{Ed} > V_{Rd,ct}$, ist eine Querkraftbewehrung derart vorzusehen, dass $V_{Ed} \leq V_{Rd,sy}$ (Abschn. 10.3.4 (4)) ist.

$$V_{Rd,sy} = a_{s,bü} \cdot f_{yd} \cdot z \cdot (\cot \Theta + \cot \alpha) \cdot \sin \alpha / a_k \quad \text{mit}$$

z innerer Hebelarm im betrachteten Bauteilabschnitt

$0.5 \leq a_k \leq 1.0$ Wirksamkeitsfaktor der Rundbügel (nur bei Kreisquerschnitten)

Der innere Hebelarm z ist eine entscheidende Größe bei der Querkraftbemessung. Er kann derzeit auf drei verschiedene Arten angenommen werden:

1. z aus der Biegebemessung des zugehörigen N,M-Lastfalls
2. nach 10.3.4(2) mit $z = 0.9 \cdot d \leq d - 2 \cdot c_{v,D} \leq d - c_{v,D} - 30 \text{ mm}$ (nur bei geringer Normalkraftbeanspruchung)
3. z aus der Biegebemessung (wie 1.) mit der Einschränkung $z \leq d - 2 \cdot c_{v,D} \leq d - c_{v,D} - 30 \text{ mm}$ aus 10.3.4(2)

$c_{v,D}$ Betondeckung der Längsbewehrung in der Betondruckzone (Verlegemaß)

Besonderheiten:

- Ist der zugehörige N,M-Lastfall = 0, wird angenommen $z = 0.9 \cdot d$ mit $d = h - \max(h_{s0}, h_{su})$; bei Kreisquerschnitten $d = r_a$.
- Ist der Querschnitt überdrückt, wird der innere Hebelarm berechnet zu $z = I/S$ (I Trägheitsmoment, S statisches Moment um die Schwerachse).
- Ist der Querschnitt überzogen, ergibt sich z zum Abstand der Bewehrungslagen.
- Ist $c_{v,D} = 0$, wird $c_{v,D} = h_s - 10 \text{ mm} \leq 3 \text{ cm}$ berechnet (Annahme einer einlagigen Druckbewehrung mit dem Längsstabdurchmesser $d_s = 20 \text{ mm}$).
- Ist $c_{v,D} > 3 \text{ cm}$, wird die Einschränkung begrenzt auf $z \leq d - c_{v,D} - 3 \text{ cm}$.
- Bei Kreisquerschnitten ist bei überzogenem Querschnitt $z = \frac{4}{\pi} \cdot (r_a - h_{sa})$.
- Bei Kreisquerschnitten wird die wirksame Querschnittsbreite b_w auf die Breite in Höhe der äußersten Bewehrungslage begrenzt.

ÖN B 4700

Zu 2.: Es darf $z = 0.9 \cdot d$ angenommen werden, wenn keine nennenswerte Normalkraft wirkt (3.4.4.2(3)). 3. entfällt.

EC 2

Zu 2.: Es darf $z = 0.9 \cdot d$ angenommen werden, wenn keine Normalkraft wirkt (6.2.3(1)). 3. entfällt

6.2.1.4

Berechnung des Druckstrebenwinkels

Der Bemessungswert der aufnehmbaren Querkraft $V_{Rd,sy}$ ($a_{s,bü}$) ist abhängig von der Neigung der Querkraftbewehrung α und der Neigung der Druckstreben $\cot \Theta$. α und Θ sind im Eigenschaftsblatt vorzugeben, werden aber programmintern auf ihre Grenzwerte hin überprüft und bei Bedarf angepasst (s. Ausgabeprotokoll).

Grenzwerte der Neigung der Querkraftbewehrung:

$$45^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$$

Grenzwerte der Neigung der Druckstreben:

$$\cot 60^\circ \leq \cot \vartheta \leq \frac{1.2 - 1.4 \cdot \sigma_{cd}/f_{cd}}{1 - V_{Rd,c}/V_{Ed}} \begin{cases} \leq 3.0 \text{ für Normalbeton} \\ \leq 2.0 \text{ für Leichtbeton} \end{cases}$$

mit

$$V_{Rd,c} = \beta_{ct} \cdot 0.10 \cdot \eta_1 \cdot f_{ck}^{1/3} \cdot (1 + 1.2 \cdot \sigma_{cd}/f_{cd}) \cdot b_w \cdot z$$

$$\beta_{ct} = 2.4$$



Je kleiner Θ gewählt wird, desto weniger Bewehrung ergibt sich. Allerdings wirkt sich Θ umgekehrt proportional bei der Berechnung der Verankerungslängen der Längsbewehrung (Zugkraftdeckungslinie 13.2.2) aus!

Vereinfachend darf nach 10.3.4(5) für

- reine Biegung oder Biegung und Längsdruckkraft $\Theta = 40^\circ$ ($\cot \Theta = 1.2$)
- Biegung und Längszugkraft $\Theta = 45^\circ$ ($\cot \Theta = 1.0$)

angenommen werden.

ÖN B 4700

Nach 3.4.4.2(7) gilt i. A. ($\sigma_{sd} = f_{yd}$) $0.6 \leq \tan \Theta \leq 1.6$. Wenn die Spannung der am Biegezugrand angeordneten Längsbewehrung keine Zugspannung ist und keine Torsion vorliegt, darf gelten $0.4 \leq \tan \Theta \leq 2.5$. Zwischenwerte von $0 < \sigma_{sd} < f_{yd}$ dürfen linear interpoliert werden.

EC 2

Der landesspezifische Wert für $\cot \Theta$ darf einem nationalen Anhang entnommen werden (6.2.3(2)). Voreingestellt ist $1.0 \leq \cot \Theta \leq 2.5$

6.2.1.5

Bemessungswert der durch die Druckstrebenfestigkeit begrenzten aufnehmbaren Querkraft

Der Bemessungswert der einwirkenden Querkraft darf in keinem Querschnitt des Bauteils den Wert $V_{Rd,max}$ überschreiten (Abschn. 10.3.4 (6)).

$$V_{Rd,max} = b_w \cdot z \cdot \alpha_c \cdot f_{cd} \cdot \frac{\cot \Theta + \cot \alpha}{1 + \cot^2 \Theta} \quad \text{mit} \quad \alpha_c = 0.75 \cdot \eta_1$$

Wird jedoch eine Grundbewehrung a_{sb0} vorgegeben, die größer als die erforderliche Querkraftbewehrung ist, so darf die Druckstrebenneigung $\cot \Theta$ zur Ermittlung von $V_{Rd,max}$ um den Anteil a_{sb}/a_{sb0} reduziert werden.



Da $V_{Rd,max}$ von Θ abhängt, wird im Falle von $V_{Rd,max} > V_{Ed}$ der Winkel Θ innerhalb seiner Grenzen variiert bis gilt $V_{Ed} = V_{Rd,max}$.

ÖN B 4700

Nach 3.4.4.2(9) gilt

$$V_{Rd,max} = b_w \cdot z \cdot \nu \cdot f_{cd} \cdot (\cot \Theta + \cot \alpha) \cdot \sin^2 \Theta \leq 0.7 \cdot b_w \cdot z \cdot \nu \cdot f_{cd} \quad \text{mit} \quad \nu = 0.7 - \frac{1.5 \cdot f_{cd}}{200} \geq 0.5$$

Für Bauteile unter Längsdruck muss der Bemessungswert des Widerstandes gegen Querkraft abgemindert werden zu

$$V_{Rd,max,red} = 1.67 \cdot \left(1 - \frac{\sigma_{cd,eff}}{f_{cd}} \right) \leq V_{Rd,max} \quad \text{mit}$$

$$\sigma_{cd,eff} = \frac{N_{Ed} - f_{yd} \cdot A_{s2}}{A_c}, \quad A_{s2} \text{ als Bewehrung auf der Druckseite.}$$

EC 2

Nach 6.2.3(3) und (4) gilt:

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot \nu_1 \cdot f_{cd} \cdot \frac{\cot \Theta + \cot \alpha}{1 + \cot^2 \Theta}$$

Die landesspezifischen Werte ν_1 und α_{cw} dürfen einem nationalen Anhang entnommen werden.

Voreingestellt sind $\nu_1 = 0.6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right)$ und $\alpha_{cw} = 1.0$.

6.2.1.6

Querkraftausnutzung

DIN 1045-1

Die Querkraftausnutzung wird nach Tab. 31 wie folgt ermittelt:

Bereich	Querkraftausnutzung*	Festigkeitsklasse des Betons			
		$\leq C50/60$ $\leq LC50/55$	$> C50/60$ $> LC50/55$	$\leq C50/60$ $\leq LC50/55$	$> C50/60$ $> LC50/55$
		Längsabstand		Querabstand	
1	$V_{Ed} \leq 0.30 V_{Rd,max}$	0.7 h bzw. 300 mm	0.7 h bzw. 200 mm	h bzw. 800 mm	h bzw. 600 mm
2	$0.30 V_{Rd,max} < V_{Ed} \leq 0.60 V_{Rd,max}$	0.5 h bzw. 300 mm	0.5 h bzw. 200 mm	h bzw. 600 mm	h bzw. 400 mm
3	$V_{Ed} > 0.60 V_{Rd,max}$	0.25 h bzw. 200 mm			

* V_{Ed} und $V_{Rd,max}$ nach 10.3.2 und 10.3.4

ÖN B 4700

AB 1 $V_{Ed} \leq 2/5 \cdot V_{Rd,max}$

AB 2 $V_{Ed} \leq 2/3 \cdot V_{Rd,max}$

AB 3 $V_{Ed} > 2/3 \cdot V_{Rd,max}$

EC 2

AB 1 $V_{Ed} \leq 1/3 \cdot V_{Rd,max}$

AB 2 $V_{Ed} > 1/3 \cdot V_{Rd,max}$

6.2.1.7

Besonderheiten bei der Ausnutzung von Gitterträgern

Soll die Querkraftbewehrung mit Gitterträgern (s. Abs. 1.4.2, S. 12) ausgeführt werden, wird programmintern eine Zugfestigkeit der Bewehrung von $f_{yk} = 420 \text{ N/mm}^2$ angesetzt.

Die zulässige Größe des Druckstrebenwinkels ist in der jeweiligen Zulassung geregelt; daher wird bei Gitterträgern $\max \cot \Theta_{zul}$ nicht überprüft:

$$1.0 \leq \cot \Theta_{\text{Gitterträger}} \begin{cases} \leq 3.0 \text{ für Normalbeton} \\ \leq 2.0 \text{ für Leichtbeton} \end{cases}$$

Weiterhin ergibt sich die Grenze des Ausnutzungsbereichs 1 in Tab. 31 (d.h. bis zu welcher Belastung die Querkraftbewehrung als reine Gitterträgerkonstruktion ohne Bügel ausgeführt werden darf) zu

$$V_{Ed} \leq \left\{ \begin{array}{l} 0.25 \text{ für } \alpha < 55^\circ \\ 0.30 \cdot (1 + \sin(55^\circ - \alpha)) \text{ für } \alpha \geq 55^\circ \end{array} \right\} \cdot V_{Rd,max}$$

6.2.2

Zweiachsige Querkraftbeanspruchung (geneigte Querkraft)

Die Bemessung kann auf zwei im Folgenden beschriebene Arten erfolgen.

6.2.2.1

Bemessung der Querkraftkomponenten

Die Querkraft wird in ihre Komponenten zerlegt und in den entsprechenden Richtungen (ggf. einschließlich des Torsionsmoments) einachsig bemessen. Die Vorstellung beruht dabei darauf, dass jede Querkraftkomponente unabhängig von der anderen jeweils eine Bügelschenkelrichtung abdeckt. Das Bemessungsergebnis ist demnach das Maximum aus den Einzelbemessungen.

6.2.2.2

Bemessungsansatz von Peter Mark

Unter den Bedingungen

- Rechteckquerschnitt
- keine Normalkraft
- innerer Hebelarm aus Biegebemessung

kann der Ansatz von P. Mark durchgeführt werden.

Vergrößerung der Bügelkräfte um den Faktor

$$1 \leq 1 + \left[\frac{2}{\sqrt{(b/h)^2 + 1}} - 1 \right] \cdot \alpha_v^k < 2$$

Verringerung der maximalen Druckstreben­tragfähigkeit um den Faktor

$$1 \leq 1 + \left[\frac{b}{b_{\text{eff}}} - 1 \right] \cdot \alpha_v^k < \frac{b}{b_{\text{eff}}}$$

mit der dimensionslosen Querkraft­neigung

$$\alpha_v = \left| \frac{V_{\text{E}dy}}{V_{\text{E}dz}} \right| \cdot \frac{h}{b} \leq 1 \quad \text{sowie} \quad k = 1/2 \quad \text{und} \quad b_{\text{eff}} = 0.6 \cdot b$$

Aus Kompatibilitätsgründen (zur einachsigen Querkraftbemessung) ergibt sich die wirksame Querschnittsbreite zu

$$b_w = b \cdot \left[1 + (\min(1, h/b) - 1) \cdot \alpha_v^k \right] \leq b$$



Je schiefwinkliger die Querkraft wirkt, desto so mehr Bewehrung ergibt sich gegenüber der "Komponentenmethode". Untersuchungen haben gezeigt, dass die nach der "Komponentenmethode" ermittelte Bewehrung ggf. zu gering ist, da das zweiachsige Tragverhalten des Querschnitts nicht erfasst wird.

6.2.3

Mindestquerkraftbewehrung

DIN 1045 13.2.3(5), DIN Fb 102 Bei überwiegend auf Biegung beanspruchten Bauteilen ist eine Mindestquerkraftbewehrung in Höhe von

$$\min \rho_w = \rho = 0.16 \cdot f_{\text{ctm}} / f_{yk} \geq \rho_w = \frac{a_{\text{sbü}}}{b_w \cdot \sin \alpha} \quad \text{nach Tab. 29 vorzusehen.}$$

ÖN B 4700

Gemäß 3.4.9.4(2) muss die geforderte Bügelbewehrung mindestens dem nachstehend angegebenen Bewehrungsquerschnitt entsprechen

$$a_{\text{sw}, \text{min}} = \frac{A_{\text{sw}}}{s} \geq \frac{15 \cdot f_{\text{ctm}}}{f_{yd}} \cdot b_w$$

EC 2

Nach 9.2.2(5) darf die Mindestquerkraftbewehrung für Balken einem nationalen Anhang entnommen werden. Voreingestellt ist $\rho_{w, \text{min}} = 0.08 \cdot \frac{\sqrt{f_{\text{ck}}}}{f_{yk}}$.

Platten und Falwerke bilden als Flächenträger mit $b/h > 5$ ebenso wie Stützen und Wände als Druckglieder mit $e_d/h \leq 3.5$ eine Ausnahme. Eine Mindestquerkraftbewehrung ist nicht erforderlich.

6.2.4

Anschluss der Gurte an den Balkensteg

DIN 1045-1, 10.3.5 / EC 2, 6.2.4 / ÖN B 4700, 3.4.4.3

Bei Plattenbalken und Doppel-T-Querschnitten ist n. DIN 1045-1, Abs. 10.3.5, der Anschluss der Gurte an den Balkensteg nachzuweisen. Dazu ist der Bemessungswert der einwirkenden Längsschubkraft zu ermitteln aus

$$V_{Ed} = \Delta F_d$$

Bei Anschluss eines Druckgurtes:

$$\Delta F_d = \Delta F_{cd} = \frac{\Delta M_{Ed}}{z} \cdot \frac{A_{ca}}{A_{cc}} \approx \frac{M_{Ed}}{z} \cdot \frac{b_a}{b_{eff}} \quad \text{mit}$$

$$\Delta M_{Ed} = M_{Ed}(x = a_v) - M_{Ed}(x = 0)$$

- z Hebelarm der inneren Kräfte
- A_{ca} Fläche eines abliegenden Druckflansches
- A_{cc} Gesamtfläche der Druckzone
- b_a Breite eines abliegenden Druckflansches
- b_{eff} mitwirkende Breite

Bei Anschluss eines Zuggurtes:

$$\Delta F_d = \Delta F_{sd} = \frac{\Delta M_{Ed}}{z} \cdot \frac{A_{sa}}{A_s} \quad \text{mit}$$

$$\Delta M_{Ed} = M_{Ed}(x = 0) - M_{Ed}(x = a_v)$$

- A_{sa} Fläche der in einen Flansch ausgelagerten Zugbewehrung
- A_s Gesamtfläche der Zugbewehrung

Die Wahl der maßgebenden Länge a_v, innerhalb der die Längsschubkraft als konstant angenommen werden darf, sollte nicht größer sein als der halbe Abstand zwischen Momentennullpunkt und Momentenhöchstwert bzw. nennenswertem Querkraftsprung.

In die Zuggurte ausgel. Bewehrungsanteil	Σ	0	%
Eintragungslänge	a _v	1.81	m
Differenzmoment	ΔM _{Ed}	283.47	kNm

Für diese Bemessungsquerkraft erfolgt der Nachweis der Druckstrebenfestigkeit (s. auch Abs. 6.2, S. 28) mit

$$V_{Rdmax} = \frac{\alpha_c \cdot f_{cd} \cdot h_f \cdot a_v}{\tan \Theta + \cot \Theta} \quad \text{mit } h_f \quad \text{Dicke des Gurtes am Anschluss.}$$

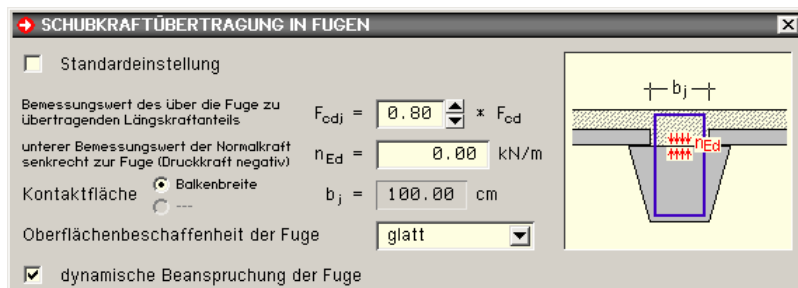
Die Anschlussbewehrung ergibt sich zu

$$a_{sf} = \frac{\Delta F_d}{f_{yd} \cdot a_v} \cdot \frac{1}{\cot \Theta}$$

Vereinfachend wird für die Neigung der Druckstreben beim Anschluss eines Druckgurtes $\Theta = 40^\circ$ ($\cot \Theta = 1.2$) und beim Anschluss eines Zuggurtes $\Theta = 45^\circ$ ($\cot \Theta = 1.0$) angesetzt.

6.2.5 Schubkraftübertragung in Fugen

Einachsig gespannte Bauteile (Querschnitte unter einachsiger Biegung und Querkraft, nicht Kreis(ring)) und Platten (Elementdecken) können als Verbundbauteile von Fertigteil mit Ortbetongergänzung oder als zwei nacheinander betonierte Ortbetonabschnitte ausgeführt werden.



DIN 1045-1 (7.01), 10.3.6 Der Bemessungswert der in der Kontaktfläche zwischen Ortbeton und Fertigteil oder in nachträglich ergänzten Querschnitten zu übertragenden Schubkraft je Längeneinheit wird ermittelt zu

$$v_{Edj} = \beta_1 \cdot \frac{V_{Ed}}{z_j} \quad \text{mit } \beta_1 = \frac{F_{cdj}}{F_{cd}} \quad \text{mit}$$

F_{cdj} Bemessungswert des über die Fuge zu übertragenden Längskraftanteils,
(Fuge in der Zugzone: $F_{cdj} = F_{cd}$)

$$F_{cd} = \frac{M_{Ed}}{z} \quad \text{Bemessungswert der Gurtlängskraft infolge Biegung}$$

z_j innerer Hebelarm in der Fuge. Bei reiner Verbundbewehrung kann n. 10.3.4(2)
 $z_j = 0.9 \cdot d$ angenommen werden.

Ohne Anordnung einer Verbundbewehrung darf v_{Edj} den folgenden Bemessungswert der aufnehmbaren Schubkraft in Fugen von Verbundbauteilen nicht überschreiten:

$$v_{Rd,ct} = \left(0.042 \cdot \eta_1 \cdot \beta_{ct} \cdot f_{ck}^{1/3} - \mu \cdot \sigma_{Nd} \right) \cdot b_j \quad \text{mit}$$

β_{ct}, μ s. Tab. 13 und Abs. (4), DIN 1045-1, 10.3.6

$$\sigma_{Nd} = \frac{n_{Ed}}{b_j} \geq -0.6 \cdot f_{cd} \quad \text{Normalspannung senkrecht zur Fuge, i. A. gilt } \sigma_{Nd} = 0.$$

b_j Breite der Kontaktfläche, i. A. $b_j =$ Steg- bzw. Querschnittsbreite

In bewehrten Fugen von Verbundbauteilen beträgt der Bemessungswert der aufnehmbaren Schubkraft:

$$v_{Rd,sy} = a_{sj} \cdot f_{yd} \cdot (\cot \Theta_j + \cot \alpha) \cdot \sin \alpha - \mu \cdot \sigma_{Nd} \cdot b_j \quad \text{mit}$$

a_{sj} Querschnitt der die Fuge kreuzenden Bewehrung je Längeneinheit

Θ_j Druckstrebenwinkel mit

$$1.0 \leq \cot \Theta_j \leq \frac{1.2 \cdot \mu - 1.4 \cdot \sigma_{cd} / f_{cd}}{1 - v_{Rd,ct} / v_{Edj}} \quad \left\{ \begin{array}{l} \leq 3.0 \text{ für Normalbeton} \\ \leq 2.0 \text{ für Leichtbeton} \end{array} \right.$$

$$v_{Rd,c} = 0.042 \cdot \eta_1 \cdot \beta_{ct} \cdot f_{ck}^{1/3} \cdot b_j \quad (v_{Rd,ct} \text{ ohne Reibungsanteil})$$

σ_{cd} Normalspannung parallel zur Fuge: $\sigma_{cd, Fuge} = 0$



Wenn $\max \cot \Theta_{j,zul} < \min \cot \Theta_{j,zul}$ (d.h. der Bruch < 1.0) ist, wird ein Fehler ausgewiesen, da der Nachweis der Verbundfuge nicht zulässig ist. Bei Zugfugen (z.B. in Überzügen) gilt i.A. $\sigma_{Nd} = \sigma_{cd} = 0$ und $\beta_1 = 1$, so dass der Bruch nur bei verzahnt ausgebildeten Fugen größer als der Grenzwert 1.0 wird!

α Winkel der Verbundbewehrung, i.A. $\alpha = 90^\circ$

DIN 1045-1 (8.08), 10.3.6 Der Bemessungswert der in der Kontaktfläche zwischen Ortbeton und Fertigteil oder in nachträglich ergänzten Querschnitten zu übertragenden Schubkraft je Längeneinheit wird ermittelt zu

$$v_{Edj} = \beta_1 \cdot \frac{V_{Ed}}{z_j} \quad \text{mit } \beta_1 = \frac{F_{cdj}}{F_{cd}} \quad \text{mit}$$

F_{cdj} Bemessungswert des über die Fuge zu übertragenden Längskraftanteils,
(Fuge in der Zugzone: $F_{cdj} = F_{cd}$)

$$F_{cd} = \frac{M_{Ed}}{z} \quad \text{Bemessungswert der Gurtlängskraft infolge Biegung}$$

z_j innerer Hebelarm in der Fuge. Bei reiner Verbundbewehrung kann n. 10.3.4(2)
 $z_j = 0.9 \cdot d$ angenommen werden.

Der Bemessungswert der aufnehmbaren Schubkraft in Fugen wird ermittelt zu

$$v_{Rdj} = \left(\eta_1 \cdot c_j \cdot f_{ctd} - \mu \cdot \sigma_{Nd} \right) \cdot b_j + v_{Rdj,sy} \leq v_{Rdj,max}$$

mit dem Bemessungswert der aufnehmbaren Schubkraft

$$V_{Rd,sy} = a_{sj} \cdot f_{yd} \cdot (1.2 \cdot \mu \cdot \sin \alpha + \cos \alpha)$$

Dabei ist

a_{sj} Querschnitt der die Fuge kreuzenden Bewehrung je Längeneinheit

c_j, μ s. Tab. 13 DIN 1045-1, 10.3.6

f_{ctd} Bemessungswert der Betonzugfestigkeit (bezogen auf $\gamma_{c,unbewehrt}$)

$\sigma_{Nd} = n_{Ed}/b_j \geq -0.6 \cdot f_{cd}$ Normalspannung senkrecht zur Fuge, $\sigma_{Nd} \leq 0$

α Winkel der Verbundbewehrung mit $45^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$, i.A. $\alpha = 90^\circ$

b_j Breite der Kontaktfläche, i.A. $b_j = \text{Steg- bzw. Querschnittsbreite}$

Wenn σ_{Nd} eine Zugspannung ist, ist bei glatten und rauen Fugen $c_j = 0$ zu setzen

Wenn die Fuge unter dynamischer Belastung steht, ist $c_j = 0$ zu setzen.

Die maximal aufnehmbare Schubkraft beträgt:

$$V_{Rdj,max} = 0.5 \cdot \eta_1 \cdot v \cdot f_{cd} \cdot b_j \quad \text{mit}$$

v Abminderungsbeiwert für die Betondruckfestigkeit nach 10.3.6(4).

EC 2, 6.2.5

Der Bemessungswert der in der Kontaktfläche zwischen Ortbeton und Fertigteil oder in nachträglich ergänzten Querschnitten zu übertragenden Schubkraft je Längeneinheit wird ermittelt zu

$$V_{Edj} = \beta_1 \cdot \frac{V_{Ed}}{z_j} \quad \text{mit} \quad \beta_1 = \frac{F_{cdj}}{F_{cd}} \quad \text{mit}$$

F_{cdj} Bemessungswert des über die Fuge zu übertragenden Längskraftanteils,
(Fuge in der Zugzone: $F_{cdj} = F_{cd}$)

$F_{cd} = \frac{M_{Ed}}{z}$ Bemessungswert der Gurtlängskraft infolge Biegung

z_j innerer Hebelarm in der Fuge. Bei reiner Verbundbewehrung kann n. 6.2.3 (1) $z_j = 0.9 \cdot d$ angenommen werden.

Der Bemessungswert des Schubkraftwiderstands in der Fuge ist gegeben durch (Druckstrebenwinkel $\theta = 45^\circ$)

$$V_{Rdj} = (c \cdot f_{ctd} - \mu \cdot \sigma_n + \rho \cdot f_{yd} \cdot (\mu \cdot \sin \alpha + \cos \alpha)) \cdot b_j \leq V_{Rd,max} \quad \text{mit}$$

c, μ s. Absatz (2)

$\sigma_{Nd} = n_{Ed}/b_j \geq -0.6 \cdot f_{cd}$ Normalspannung senkrecht zur Fuge, $\sigma_{Nd} \leq 0$

$\rho = a_{sj}/a_i$ mit a_i Fläche der Fuge

b_j Breite der Kontaktfläche, i.A. $b_j = \text{Steg- bzw. Querschnittsbreite}$

α Winkel der Verbundbewehrung mit $45^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$, i.A. $\alpha = 90^\circ$

$$V_{Rd,max} = 0.5 \cdot v \cdot f_{cd}$$

Wenn σ_{Nd} eine Zugspannung ist, ist $c = 0$ zu setzen.

Wenn die Fuge unter dynamischer Belastung steht, ist c zu halbieren.

ÖN B 4700, 3.4.4.5 Der Bemessungswert der in der Kontaktfläche zwischen Ortbeton und Fertigteil oder in nachträglich ergänzten Querschnitten zu übertragenden Schubkraft je Längeneinheit wird ermittelt zu

$$\tau_{Edj} = \beta_1 \cdot \frac{V_{Ed}}{b_j \cdot z_j} \quad \text{mit} \quad \beta_1 = \frac{F_{cdj}}{F_{cd}} \quad \text{mit}$$

F_{cdj} Bemessungswert des über die Fuge zu übertragenden Längskraftanteils (Fuge in der Zugzone: $F_{cdj} = F_{cd}$)

$$F_{cd} = \frac{M_{Ed}}{z} \quad \text{Bemessungswert der Gurtlängskraft infolge Biegung}$$

z_j innerer Hebelarm in der Fuge

b_j Breite der Kontaktfläche, i.A. b_j = Steg- bzw. Querschnittsbreite

Bei HDW-gestrahnten oder verzahnten Oberflächen darf nach 3.4.4.5(7) auf eine die Fuge kreuzende Bewehrung verzichtet werden, wenn gilt:

$$\tau_{Ed} \leq \tau_{Rd,ct} \quad \text{mit} \quad \tau_{Rd,ct} = 2.0 \cdot \tau_d + \mu \cdot \sigma_n \quad \text{mit}$$

τ_d Rechenwert der Schubspannung (Tab. 4, Abschn. 3.4.1.1(3))

μ Reibungsbeiwert (Tab. 6, Abschn. 3.4.4.5(3))

σ_n Normalspannung in der Fuge

Der Bemessungswert der widerstehenden Schubspannung wird berechnet zu

$$\tau_{Rd,sy} = \kappa_1 \cdot \tau_d \cdot \rho_1 \cdot \kappa_2 \cdot f_{yd} \cdot (\mu \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha) + \mu \cdot \sigma_n + \rho_1 \cdot \kappa_3 \cdot \sqrt{f_{yd} \cdot f_{cd}} \cdot \sin \alpha \leq \Theta \cdot v \cdot f_{cd} \quad \text{mit}$$

$\kappa_1, \kappa_2, \kappa_3, \beta$ aus Tab. 6, Abschn. 3.4.4.5(3)

ρ_1 Bewehrungsgrad: $\rho_1 = \frac{A_s}{A_{Fuge}}$

α Winkel zwischen Fuge und Bewehrung (hier: immer 90°)

6.2.6 Torsionsbemessung

Bei der Bemessung für Torsion ist bei Vollquerschnitten i. d. R. nur die St. Venant'sche Torsion zu betrachten. Die Torsionstragfähigkeit kann unter Annahme eines dünnwandigen, geschlossenen Querschnitts mit der Ersatzwanddicke $t_{eff} = 2 \cdot d_1 \leq b_w/4$ nachgewiesen werden (auch DIN Fb 102).

ÖN B 4700 $t_{eff} = d_0/6 < b_w/4$ mit d_0 als Durchmesser des größten, dem tatsächlichen Querschnitt einzu- beschreibenden Kreises.

EC 2 $t_{eff} = A_c/u_c < b_w/4$ mit A_c = Gesamtfläche und u_c = äußerer Umfang des Querschnittes.

6.2.6.1 Prüfung auf erforderlichen Nachweis

Zunächst ist zu überprüfen, ob Torsionsbewehrung erforderlich ist (nicht DIN-Fb 102 und ÖN B 4700). Dies geschieht n. Abschn. 10.4.1(6) für einen näherungsweise rechteckigen Vollquer- schnitt mit

$$T_{Ed} \leq (V_{Ed} \cdot b_w)/4.5 \quad \text{und} \quad V_{Ed} \cdot (1 + (4.5 \cdot T_{Ed})/(V_{Ed} \cdot b_w)) \leq V_{Rd,ct}$$

EC 2 Bei näherungsweise rechteckigen Vollquerschnitten ist nur die Mindestbewehrung erforderlich, wenn gilt:

$$T_{Ed}/T_{Rd,c} + V_{Ed}/V_{Rd,ct} \leq 1.0 \quad \text{mit}$$

$$\tau_{Rd,c} = \tau_t \cdot t_{eff}, \quad \tau_t = f_{ctd}, \quad f_{ctd} = \alpha_{ct} \cdot f_{ctk,0.05}/\gamma_c$$

α_{ct} darf einem Nationalen Anhang entnommen werden. Voreingestellt ist $\alpha_{ct} = 1.0$.

6.2.6.2 Berechnung des Bemessungswertes des aufnehmbaren Torsionsmomentes:

Kann der Nachweis nicht erbracht werden, ist mit 10.4.2 (3) die Bewehrung zu ermitteln, so dass $T_{Ed} \leq T_{Rd,sy}$ gilt.

Der Bemessungswert des aufnehmbaren Torsionsmomentes $T_{Rd,sy}$ ($a_{s,buT}$ bzw. $A_{s,T}$) ist dabei abhängig von der Neigung der Druckstreben $\cot \Theta$, die für die Schubkraft in der Wand infolge Querkraft und Torsion (nicht ÖN B 4700 und EC 2)

$$V_{Ed,T+V} = V_{Ed,T} + (V_{Ed} \cdot t_{eff}) / b_w \quad \text{mit}$$

b_w wirksame Querschnittsbreite

zu ermitteln ist. Die Neigung der Druckstreben $\cot \Theta$ ist für den Querkraftnachweis gleichermaßen anzuwenden.

$$T_{Rd,sy} = a_{s,büT} \cdot f_{yd} \cdot 2 \cdot A_k \cdot \cot \Theta \quad \text{bzw.} \quad T_{Rd,sy} = A_{s,T} / u_k \cdot f_{yd} \cdot 2 \cdot A_k \cdot \tan \Theta \quad \text{mit}$$

A_k Kernquerschnitt, durch die Mittellinien der Querschnittswände eingeschlossene Fläche

u_k Umfang der Fläche A_k

6.2.6.3 Berechnung des maximal aufnehmbaren Torsionsmomentes

Allerdings darf der Bemessungswert des einwirkenden Torsionsmoments in keinem Querschnitt des Bauteils den Wert $T_{Rd,max}$ überschreiten (10.4.2 (4)).

$$T_{Rd,max} = \frac{\alpha_{c,red} \cdot f_{cd} \cdot 2 \cdot A_k \cdot t_{eff}}{\cot \Theta + \tan \Theta} \quad \text{mit} \quad \alpha_{c,red} = 0.7 \cdot \alpha_c \quad (\text{nicht ÖN B 4700 und EC 2}).$$

Es kann analog $V_{Rd,max}$ (s. Abs. 6.2.1.5, S. 31) eine Erhöhung von Θ erfolgen, wenn $T_{Rd,max} < T_{Ed}$ ist bis gilt $T_{Ed} = T_{Rd,max}$.

6.2.7 Bemessung für Querkraft und Torsion

Die maximale Tragfähigkeit bei kombinierter Beanspruchung aus Querkraft und Torsion wird durch die Druckstreben Tragfähigkeit begrenzt mit

$$\left[\frac{T_{Ed}}{T_{Rd,max}} \right]^2 + \left[\frac{V_{Ed}}{V_{Rd,max}} \right]^2 \leq 1 \quad (\text{Kompaktquerschnitte})$$

$$\text{EC 2, ÖN B 4700} \quad \frac{T_{Ed}}{T_{Rd,max}} + \frac{V_{Ed}}{V_{Rd,max}} \leq 1 \quad (\text{Vollquerschnitte})$$

6.2.8 Hauptdruckspannungsnachweis

Wände oder ähnliche hauptsächlich über Normalkraft abtragende Bauteile sind bezüglich ihrer Hauptdruckspannung zu überprüfen. N. 10.6.2(2) ist der Bemessungswert der Druckstrebenfestigkeit unter zweiachsigem Druck begrenzt durch

$$\sigma_{Rd,max} \leq f_{ak} \cdot \eta_1 \cdot f_{cd} \quad \text{mit} \quad \sigma_2^I \text{ maximale Hauptdruckspannung}$$

$$\text{ÖN B 4700} \quad \sigma_2^I \leq 1.1 \cdot \eta_1 \cdot f_{cd}$$

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 und Gleichungen ist unter Abs. 15, S. 62, zu finden.

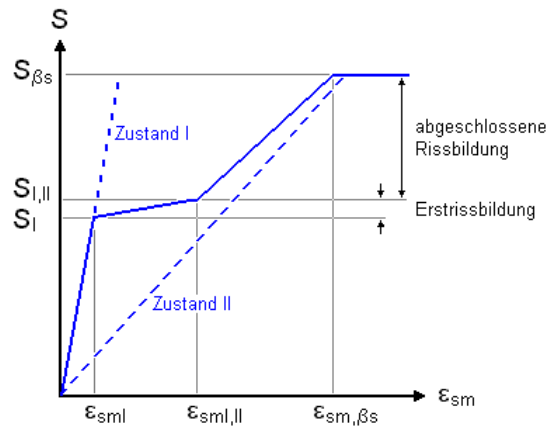


Anmerkungen zur DIN 1045-1: Die neueste Ausgabe der Norm (August 2008) ist derzeit noch nicht eingeführt, kann aber in *pcae*-Programmen bereits zur Bemessung herangezogen werden. Unterschiede gegenüber der Ausgabe Juli 2001 sind besonders gekennzeichnet.

Anmerkungen zum EC 2: Die Eurocode-Normen sind nur in Verbindung mit ihren nationalen Anhängen (Abs. 16, S. 65) gültig, welche für eine Auswahl an Parametern nationaler Festlegungen treffen. Im Folgenden wird sich nur auf den Original-Code bezogen.

Das Ziel beim Entwurf von Stahlbetonbauteilen ist die Begrenzung der entstehenden Rissbreiten auf ein Maß, das die ordnungsgemäße Funktion und Dauerhaftigkeit eines Bauwerks gewährleistet.

Wird ein Stahlbetonstab einer Zugbelastung ausgesetzt, so ergibt sich (idealisiert) folgendes Last-Verformungs-Diagramm:



Zunächst ist der Querschnitt ungerissen (Zustand 1) bis es bei ϵ_{smI} unter S_I zum ersten Riss kommt. I.d.R. hat der Bewehrungsgrad hier keinen nennenswerten Einfluss auf die Steifigkeit des Trägers. Danach nimmt die Rissanzahl bei weiterer Lastzunahme stark zu bis bei $\epsilon_{smI,II}$ unter $S_{I,II}$ die Erstrissbildung abgeschlossen ist. Die Steifigkeit des Bauteils nimmt mit zunehmender Belastung ständig ab und nähert sich der Steifigkeit des reinen Zustands 2 an.

Ab jetzt ändert sich die Rissanzahl wenig bis bei $\epsilon_{sm,\beta s}$ unter $S_{\beta s}$ entweder die Rissbildung abgeschlossen ist oder der Träger versagt. Die Abnahme der Steifigkeit resultiert vor allem aus der lokalen Schädigung des Verbundes.

In den *pcae*-Programmen werden - je nach Ausbaustufe - folgende Nachweisverfahren angeboten:

- DIN (ohne direkte Berechnung der Rissbreite)
- DIN (Berechnung der Rissbreite, nicht DIN 1045, ÖN B 4700)
- P. Schießl
- P. Noakowski

In Abhängigkeit der nachfolgend beschriebenen Parameter wird zunächst der minimale Bewehrungsgrad in der Zugzone bestimmt. Anschließend wird überprüft, ob die erforderlichen Grenzdurchmesser oben und unten für die maßgebende Risslast eingehalten werden. Ist der Nachweis nicht erfüllt, werden die Bewehrungsquerschnitte entsprechend erhöht.



Beim Nachweis der zulässigen Rissbreite für Plattenbalken- und Doppel-T-Querschnitten wird die Einflussbreite der Bewehrung auf Stegbreite zzgl. 3-fachem Stahlrandabstand begrenzt.

Folgende Parameter sind festzulegen:

- der maximale Stabdurchmesser der Bewehrung $d_{s,gr}$
- die rechnerische Rissbreite w_{cal} (DIN 1045: über die Umweltbedingung n. Tab. 10)
- das Verbundverhalten zwischen Bewehrung und Beton (nur Schießl und Noakowski)
- das maßgebende Betonalter durch den Faktor $k_{z,t}$
 Faktor $k_{z,t}$ für normal erhärtende Zemente, übliche Bauteilabmessungen und unter Normaltemperatur der Luft. Die unteren Klammerausdrücke gelten für schnell erhärtende Zemente, sehr hohe Umgebungstemperaturen und/oder massige Bauteile; die oberen für langsam erhärtende Zemente und/oder niedrige Umgebungstemperaturen während des Erhärtens.
- die Art der Zwangsbeanspruchung (nur bei aktivierter **Mindestbewehrung**)
 wenn Biegezwang: selbst- oder außerhalb induziert (nicht DIN 1045)
- die Drucknormalkraft N_c im Schwerpunkt des Betonquerschnitts (nicht DIN 1045, nur bei aktivierter **Mindestbewehrung** und **Biegezwang**)

		Alter des Betons in Tagen			
		3	7	28	> 90
$k_{z,t}$		(0.4)	(0.6)		(1.2)
		0.5 (0.7)	0.75 (0.9)	1.0	1.1 (1.05)



Der $k_{z,t}$ -Wert bezieht sich auf den Betrachtungszeitpunkt der Nachweisführung. Sollen beide Teilnachweise (Mindestbewehrung zum Zeitpunkt der Erstrissbildung und Begrenzung der Rissbreite nach abgeschlossener Rissbildung) geführt werden, wird der vorgegebene $k_{z,t}$ -Wert nur bei der Erstrissbildung berücksichtigt.

7.1

Rissnachweis DIN 1045,17.6

Nachweis nach		DIN, 17.6	
<input checked="" type="checkbox"/>	Mindestbewehrung (Zwang/Eigenstressungen)		
<input checked="" type="checkbox"/>	Begrenzung der Rissbreite (Last, Last+Zwang)		
Grenzdurchmesser			
oben $d_{s,gr}$	20 mm		
unten $d_{s,gr}$	28 mm		
Beiwert k_0	1.0	zentr. Zw.	<input type="checkbox"/> außerhalb induziert
Umweltbedingung nach Tab. 17.6-1, Zeile	4	(Heft 400, DAfStb)	
Rissbreite w_{cal}	0.20 mm		
Beton: Faktor $k_{z,t}$	0.50	Erhärungsablauf	
Erstrissbildung: N_c	0.00 kN		
Hinweis: Die Mindestbewehrung aus abfließender Hydrationswärme wird i.A. mit $k_{z,t} \approx 0.5$ und unter Annahme zentrischen Zwangs (innerhalb induziert) nachgewiesen.			

Der Rissbreitennachweis gliedert sich in zwei Teile:

In oberflächennahen Bereichen von Stahlbetonbauteilen, in denen Betonzugspannungen aus innerem Zwang entstehen können, ist i. A. eine Mindestbewehrung einzulegen. Wird diese nicht durch die Biegebewehrung abgedeckt, ist der Bewehrungsgrad entsprechend zu erhöhen.

Die Rissbreiten infolge einer Lastbeanspruchung richten sich nach Regeln für die statisch erforderliche Bewehrung und sind vor allem von der vorhandenen Spannung in der Bewehrung und von deren Anordnung im Querschnitt abhängig. Deshalb sind die Stababstände bzw. die Stabdurchmesser der gewählten Bewehrung in Abhängigkeit der Spannung zu begrenzen. Es erfolgt der Nachweis zur Einhaltung der Stabdurchmesser. Werden sie durch die Biegebewehrung nicht eingehalten, ist der Bewehrungsgrad entsprechend zu erhöhen.

7.1.1

Mindestbewehrung (17.6.2)

$$\mu_z = k_0 \cdot \beta_{bZ} / \sigma_s \quad \text{mit}$$

μ_z auf die Zugzone nach Zustand 1 bezogener Bewehrungsgehalt

k_0 Zwangsbeiwert (Biegezwang 0.4, Zugzwang 1.0)

β_{bZ} wirksame Betonzugfestigkeit ($\beta_{bZ} = 0.25 \cdot \beta_{WN}^{2/3}$)

β_{WN} Nennfestigkeit des Betons ($\beta_{WN} \geq 35 \text{ N/mm}^2$)

σ_s Spannung in der Bewehrung n. Tab. 14 ($\sigma_s \leq 0.8 \cdot \beta_s$)

Bei Zwang im frühen Betonalter ($k_{z,t} \approx 0.5$) darf mit der dann vorhandenen geringeren wirksamen Betonzugfestigkeit gerechnet werden ($\beta_{bZw} = k_{z,t} \cdot \beta_{bZ}$). Dann ist jedoch der Grenzdurchmesser (s.o.) im Verhältnis $\beta_{bZw} / 2.1$ zu verringern.

7.1.2

Regeln für die statisch erforderliche Bewehrung (17.6.3)

$$d_{s,gr} \leq \lim d_s(\sigma_s) \quad \text{mit}$$

$d_{s,gr}$ Grenzdurchmesser der Bewehrung

d_s Spannung in der Bewehrung aus häufigen Lasten

$\lim d_s$ zulässiger Bewehrungsdurchmesser n. Tab. 14

Die Spannungen werden mit dem Parabel-Rechteck-Diagramm für Beton und der bilinearen Spannungsdehnungslinie für die Bewehrung ermittelt (s. Abs. 1, S. 9).

	1	2	3	4	5	6	7		
1	Betonstahlspannung σ_s in N/mm ²	160	200	240	280	350	400		
2	Grenzdurchmesser in mm bei Umweltbedingungen nach Tabelle 10	Zeile 1		36	36	28	25	16	10
3		Zeilen 2-4		28	20	16	12	8	5

Die Grenzdurchmesser dürfen im Verhältnis $\frac{d}{10(d-h)} \geq 1$ vergrößert werden.

d Bauteildicke
 h statische Nutzhöhe } jeweils rechtwinklig zur betrachteten Bewehrung

Bei Verwendung von Stabbüdeln mit $d_{s,v} > 36\text{mm}$ ist immer eine Hautbewehrung nach 18.11.3 erforderlich.
Zwischenwerte dürfen linear interpoliert werden.

Tab. 14: Grenzdurchmesser $d_{s,gr}$ in mm

Zeile	Umweltbedingung	Stahl \varnothing d_s [mm]
1	Bauteile in geschlossenen Räumen, z.B. Wohnungen (einschließlich Küche und Bad), Büroräume, Krankenhäuser, Verkaufsstätten; ständig trockene Bauteile	≤ 12
		14, 16
		20
		25
		28
2	Bauteile, zu denen die Außenluft häufig oder ständig Zugang hat; Bauteile unter Wasser o. im Boden	≤ 20
		25
		28
3	Bauteile im Freien; Bauteile mit wechselnder Durchfeuchtung	≤ 25
		28
4	Bauteile in besonders korrosionsfördernder Umgebung	≤ 25

Tab. 10 (Auszug)

7.2

Rissnachweis DIN 1045-1, 11.2 / DIN-Fb 102, 4.4.2 / EC 2, 7.3

Nachweis nach DIN 11.2.2 + 3

Mindestbewehrung (Zwang/Eigenstressungen)

Begrenzung der Rissbreite (Last, Last+Zwang)

Grenzdurchmesser

oben $d_{s,gr,o}$ 20 mm

unten $d_{s,gr,u}$ 28 mm

Beiwert k_c zentr. Zw. außerhalb induziert

Rissbreite w_k 0,30 mm

Beton: Faktor $k_{z,t}$ 0,50 min $f_{ct,eff}$ einhalten

Erstribbildung: N_c 0,00 kN

Hinweis: Die Mindestbewehrung aus abfließender Hydratationswärme wird i.A. mit $k_{z,t} \approx 0,5$ und unter Annahme zentrischen Zwangs (innerhalb induziert) nachgewiesen.

Beim Rissbreitennachweis ist zwischen dem Zustand der Bildung von Einzelrissen und dem Zustand mit abgeschlossenem Rissbild zu unterscheiden.

Zur Aufnahme von Zwangseinwirkungen und Eigenspannungen ist eine Mindestbewehrung anzuordnen, die unter Berücksichtigung der Anforderungen an die Rissbreitenbegrenzung für die Schnittgrößenkombination zu bemessen ist, die im Bauteil zur Erstrissbildung führt.

Die Rissbreiten infolge einer Lastbeanspruchung sind vor allem von der vorhandenen Spannung in der Bewehrung und von deren Anordnung im Querschnitt abhängig. Deshalb sind die Stabdurchmesser oder die Stababstände der gewählten Bewehrung in Abhängigkeit der Spannung zu begrenzen. Es erfolgt der Nachweis zur Einhaltung der Stabdurchmesser (der Nachweis zur Einhaltung der Stababstände liegt auf der unsicheren Seite, s. Heft 525, DAfStb).

7.2.1 Mindestbewehrung ohne direkte Berechnung (DIN 1045-1, 11.2.2)

Berechnung der auf die Zugzone nach Zustand 1 bezogenen Bewehrung in cm^2

$$A_s = k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{ct} / \sigma_s \quad \text{mit}$$

$$k_c = 0.4 \cdot \left[1 + \frac{\sigma_c}{k_1 \cdot f_{ct,eff}} \right] \leq 1$$

Beiwert zur Berücksichtigung der Spannungsverteilung (Zugzwang: $k_c = 1.0$, Biegezwang $k_c \geq 0.4$)

σ_c Betonspannung im Schwerpunkt (Erstrissbildung, $\sigma_c < 0$ bei Druck)

$k_1 = 1.5 \cdot h/h'$ für Drucknormalkraft; $k_1 = 2/3$ für Zugnormalkraft

$h' = \min(h, 1 \text{ m})$

k Beiwert zur Berücksichtigung nichtlinear verteilter Betonzugspannungen

DIN 1045-1 / DIN-Fb 102

infolge selbst hervorgerufenem Zwang (z.B. **Hydratationswärme**)

$k = 0.8$ für $h \leq 300 \text{ mm}$

$k = 0.5$ für $h \geq 800 \text{ mm}$

Für h ist der kleinere Wert aus Höhe und Breite des Querschnitts anzusetzen. Zwischenwerte werden interpoliert.

... infolge außerhalb des Querschnitts hervorgerufenem Zwang (z.B. Stützensenkung)

$k = 1.0$

EC 2

$k = 1.0$ für $h \leq 300 \text{ mm}$ für Stege und Gurte

$k = 0.65$ für $h \geq 800 \text{ mm}$ für Stege und Gurte

$f_{ct,eff} = k_{z,t} \cdot f_{ctm}$ wirksame Zugfestigkeit des Betons

A_{ct} Fläche der Betonzugzone nach Zustand 1 (Erstrissbildung)

σ_s Spannung in der Bewehrung n. Tab. 20 in Abhängigkeit von d_s^* und w_k
Es wird die Formel

DIN 1045-1 / DIN-Fb 102

$d_s^* = 6 \cdot w_k \cdot E_s \cdot f_{ct0} / \sigma_s^2$ mit $f_{ct0} = 3 \text{ N/mm}^2$ s. Heft 525, DAfStb

EC 2

$d_s^* = 1 / (k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot (1 - k_t)) \cdot w_k \cdot E_s \cdot f_{ct0} / \sigma_s^2$ mit

$k_1 = 0.8$, $k_2 = 0.5$, $k_4 = 0.776$, $k_t = 0.4$, $f_{ct0} = 2.9 \text{ N/mm}^2$
analog DIN 1045-1 ausgewertet.

Berechnung des Grenzdurchmessers der Bewehrung

$$d_{s,gr} = d_s^* \cdot \frac{k_c \cdot k \cdot h_t}{4 \cdot (h - d)} \cdot \frac{f_{ct,eff}}{f_{ct0}} \geq d_s^* \cdot \frac{f_{ct,eff}}{f_{ct0}} \quad \text{mit}$$

d_s^* Grenzdurchmesser n. Tab. 20

h_t Höhe der Zugzone

$f_{ct0} = 3.0 \text{ N/mm}^2$ Bezugs-Zugfestigkeit des Betons

7.2.2 Mindestbewehrung bei dickeren Bauteilen (nur DIN 1045-1 (8.08), 11.2.2(8))

Es kann günstiger sein, bei zentrischem Zwang stattdessen folgende Bewehrung einzulegen:

$$A_s = f_{ct,eff} \cdot A_{c,eff} / \sigma_s \geq k \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{ct} / f_{yk} \quad \text{bei} \quad d_{s,gr} = d_s^* \cdot \frac{f_{ct,eff}}{f_{ct0}}$$

$$A_{c,eff} = h_{eff} \cdot b \quad \text{Wirkungsbereich der Bewehrung}$$

mit h_{eff} nach Bild 53 d): Biegezwang: $h_{eff} = 2.5 \cdot d_1$ für $h/d_1 < 10$ und $h_{eff} = 5.0 \cdot d_1$

für $h/d_1 > 60$ bzw. zentr. Zwang: $h_{eff} = 2.5 \cdot d_1$ für $h/d_1 < 5$ und $h_{eff} = 5.0 \cdot d_1$ für

$h/d_1 > 30$, Zwischenwerte werden interpoliert. EC 2: $h_{eff} = 2.5 \cdot d_1$

7.2.3 Berechnung des Grenzdurchmessers der Bewehrung ohne direkte Berechnung (DIN 1045-1, 11.2.3)

$$d_{s,gr} \leq \lim d_s(\sigma_s, d_s^*) \quad \text{mit dem zulässigen Bewehrungsdurchmesser (Tab. 20)}$$

$$\lim d_s = d_s^* \cdot \frac{\sigma_s \cdot A_s}{4 \cdot (h-d) \cdot f_{ct0}} \geq d_s^* \cdot \frac{f_{ct,eff}}{f_{ct0}}$$

σ_s Spannung in der Bewehrung im Zustand 2

A_s vorhandene Bewehrung

$f_{ct,eff} = k_{zt} \cdot f_{ctm}$ wirksame Zugfestigkeit des Betons

Die Spannungen werden auf Gebrauchslastniveau ($\gamma_c = \gamma_s = 1.0$) mit den gewählten Spannungsdehnungslinien (s. Materialeigenschaften, Abs. 1, S. 9 ff) ermittelt.

7.2.4 Begrenzung der Rissbreite durch direkte Berechnung (DIN 1045-1, 11.2.4)

$$w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) \quad \text{mit}$$

$$\text{DIN 1045-1 / DIN-Fb 102} \quad s_{r,max} = \frac{d_s}{3.6 \cdot \text{eff} \rho} \leq \frac{\sigma_s \cdot d_s}{3.6 \cdot f_{ct,eff}}$$

$$\text{EC 2} \quad s_{r,max} = k_3 \cdot c + \frac{k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot d_s}{\text{eff} \rho}, \quad \text{wenn Stababstand } s \leq 5 \cdot (c + d_s/2)$$

Faktoren k_3, k_4 s. nationaler Anhang, empfohlen $k_3 = 3.4$, $k_4 = 0.425$

c Betondeckung bezogen auf die Längsbewehrung

Faktor k_1 zur Beschreibung der Verbundeigenschaften der Bewehrung:

gut $k_1 = 0.8$, schlecht $k_1 = 1.6$

Faktor $k_2 = \frac{\varepsilon_{c1} + \varepsilon_{c2}}{2 \cdot \max(\varepsilon_{c1}, \varepsilon_{c2})} \geq 0.5$ zur Berücksichtigung der Dehnungsverteilung

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - \sigma_{cm} \cdot \alpha_e}{E_s} \geq (1 - k_t) \cdot \frac{\sigma_s}{E_s}$$

σ_s Spannung der Bewehrung im Zustand 2

$$\sigma_{cm} = k_t \cdot f_{ct,eff} \cdot \left(1 + \frac{1}{\alpha_e \cdot \text{eff} \rho} \right) \quad \text{mittlere Betonzugspannung}$$

k_t Faktor, der von der Dauer der Lasteinwirkung abhängt

$k_t = 0.6$ bei kurzzeitiger Lasteinwirkung (nur EC 2)

$k_t = 0.4$ bei langfristiger Lasteinwirkung

$f_{ct,eff} = k_{zt} \cdot f_{ctm}$ wirksame Zugfestigkeit des Betons

$\alpha_e = E_s / E_{cm}$ Verhältnis der Elastizitätsmoduln

$\text{eff} \rho = A_s / A_{c,eff}$ effektiver Bewehrungsgrad

$A_{c,eff}$ Wirkungsbereich der Bewehrung (s.o.) mit der Einschränkung

$$A_{c,eff} \leq (d-x)/2 \quad \text{für Platten unter Biegebeanspruchung}$$

$$A_{c,eff} \leq d/2 \quad \text{für Platten unter Zugbeanspruchung}$$

Zur Ermittlung der Mindestbewehrung wird die Formel umgestellt und nach A_s aufgelöst

$$\text{DIN 1045-1 / DIN-Fb 102} \quad \min A_s = \sqrt{\frac{A_{ceff} \cdot k_c \cdot k \cdot A_{ct} \cdot d_s}{3.6 \cdot E_s \cdot w_k}}$$

$$\text{EC 2} \quad \min A_s = \sqrt{\frac{k_t \cdot A_{ceff} \cdot k_c \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot A_{ct} \cdot d_s}{E_s \cdot w_k}}$$

Diese Variante zur Ermittlung der Mindestbewehrung wird in den pcae-Programmen nicht angeboten.

Die Spannungen werden auf Gebrauchslastniveau ($\gamma_c = \gamma_s = 1$) mit den gewählten Spannungsdehnungslinien ermittelt (s. Abs. 1, S. 9).

Zeile	Spalte	Grenzdurchmesser der Stäbe in mm in Abhängigkeit vom Rechenwert der Rissbreite w_k				
		Stahlspannung σ_s N/mm ²				
		$w_k = 0,4$ mm	$w_k = 0,3$ mm	$w_k = 0,2$ mm	$w_k = 0,15$ mm	$w_k = 0,10$ mm
1	160	56	42	28	21	14
2	200	36	27	18	14	9
3	240	25	19	13	9	6
4	280	18	14	9	7	5
5	320	14	11	7	5	4
6	360	11	8	6	4	-
7	400	9	7	5	-	-
8	450	7	5	4	-	-

Tab. 20: Grenzdurchmesser d_s^* bei Betonstählen in mm (Tabellenwerte ermittelt mit $d_s^* = 6 \cdot w_k \cdot E_s \cdot f_{ct0} / \sigma_s^2$)

DIN 1045-1 / DIN-Fb 102

Die mindestens einzuhaltende Rissbreite w_k ist abhängig von der Expositionsklasse, in der sich das Bauteil befindet (s. Tab. 3, 18 und 19):

Zeile	Spalte	Einwirkungskombination für den Nachweis der Rissbreitenbegrenzung		Rechenwert der Rissbreite w_k in mm
		Anforderungs-kategorie	...	
1	A		-	
2	B		selten	0,2
3	C		häufig	
4	D		häufig	
5	E		quasi-ständig	0,3
6	F		quasi-ständig	0,4

Tab. 18: Anforderungen an die Begrenzung der Rissbreite (Auszug)

Zeile	Spalte	Mindestanforderungskategorie	
		Expositionsklasse	Stahlbetonbauteile
1	XC1		F
2	XC2, XC3, XC4		E
3	XD1, XD2, XD3 ^b , XS1, XS2, XS3		E

^b Im Einzelfall können zusätzlich besondere Maßnahmen für den Korrosionsschutz notwendig sein.

Tab. 19: Mindestanforderungsklassen in Abhängigkeit von der Expositionsklasse (Auszug)

1	2	3	4
Klasse	Beschreibung der Umgebung	Beispiele für die Zuordnung von Expositionsklassen	Mindestbetonfestigkeitsklasse
1 Kein Korrosions- oder Angriffsrisiko			
X0	Kein Angriffsrisiko	Bauteil ohne Bewehrung in nicht betonangreifender Umgebung	C12/15 LC12/13
2 Bewehrungskorrosion, ausgelöst durch Karbonatisierung ^a			
XC1	Trocken oder ständig nass	Bauteile in Innenräumen mit normaler Luftfeuchte; Bauteile, die sich ständig unter Wasser befinden	C16/20 LC16/18
XC2	Nass, selten trocken	Teile von Wasserbehältern; Gründungsbauteile	C16/20 LC16/18
XC3	Mäßige Feuchte	Bauteile, zu denen die Außenluft häufig oder ständig Zugang hat; Innenräume mit hoher Luftfeuchte	C20/25 LC20/22
XC4	Wechselnd nass und trocken	Außenbauteile mit direkter Beregnung; Bauteile in Wasserwechselzonen	C25/30 LC25/28
3 Bewehrungskorrosion, ausgelöst durch Chloride, ausgenommen Meerwasser			
XD1	Mäßige Feuchte	Bauteile im Sprühnebelbereich von Verkehrsflächen; Einzelgaragen	C30/37 ^c LC30/33
XD2	Nass, selten trocken	Schwimmbekken und Solebäder; Bauteile, die chloridhaltigen Industrierwässern ausgesetzt sind	C35/45 ^c LC35/38
XD3	Wechselnd nass und trocken	Bauteile im Spritzwasserbereich von taumittelbehandelten Straßen; direkt befahrene Parkdecks ^b	C35/45 ^c LC35/38
4 Bewehrungskorrosion, ausgelöst durch Chloride aus Meerwasser			
XS1	Salzhaltige Luft, kein unmittelbarer Meerwasserkontakt	Außenbauteile in Küstennähe	C30/37 ^c LC30/33
XS2	Unter Wasser	Bauteile in Hafenanlagen, die ständig unter Wasser liegen	C35/45 ^c LC35/38
XS3	Tidebereiche, Spritzwasser- und Sprühnebelbereiche	Kaimauern in Hafenanlagen	C35/45 ^c LC35/38
^a Die Feuchteangaben beziehen sich auf den Zustand innerhalb der Betondeckung der Bewehrung. Im Allgemeinen kann angenommen werden, dass die Bedingungen in der Betondeckung den Umgebungsbedingungen des Bauteils entsprechen. Dies braucht nicht der Fall zu sein, wenn sich zwischen dem Beton und seiner Umgebung eine Sperrschicht befindet. ^b Ausführung direkt befahrener Parkdecks nur mit zusätzlichem Oberflächenschutzsystem für den Beton. ^c Eine Betonfestigkeitsklasse niedriger, sofern aufgrund der zusätzlich zutreffenden Expositionsklasse XF Luftporenbeton verwendet wird.			

Tab. 3: Expositionsklassen (Auszug)



Wenn der Zeitpunkt der Erstrissbildung nicht mit Sicherheit innerhalb der ersten 28 Tage festgelegt werden kann, sollte mindestens eine effektive Betonzugfestigkeit von 3 N/mm^2 für Normalbeton und 2.5 N/mm^2 für Leichtbeton angenommen werden. Im Programm kann eingestellt werden, ob für $k_{zt} \geq 1$ min $f_{ct,eff}$ eingehalten werden soll.

7.3 Rissnachweis ÖN B 4700, 4.2

Beim Rissbreitennachweis ist zwischen überwiegender Zwangsbeanspruchung und überwiegender Lastbeanspruchung zu unterscheiden.

Für alle Stahlbetonbauteile, in denen die Rissbildung durch Zwangsbeanspruchungen ausgelöst wird, ist eine risseverteilende Bewehrung vorzusehen und im Regelfall auf die Zugränder (Oberflächen) aufzuteilen.

Die Rissbreiten infolge überwiegender Lastbeanspruchung sind vor allem von der vorhandenen Spannung in der Bewehrung und von deren Anordnung im Querschnitt abhängig. Deshalb sind die Stabdurchmesser oder die Stababstände der gewählten Bewehrung in Abhängigkeit von der Spannung zu begrenzen. Es erfolgt der Nachweis zur Einhaltung der Stabdurchmesser.

7.3.1 überwiegende Zwangsbeanspruchung (4.2.2)

Die an einem Zugrand einzulegende Bewehrung in cm^2 berechnet sich mit

$$A_s = \frac{\rho_t}{100} \cdot b_t \cdot h_t \quad \text{mit}$$

$$\rho_t = \rho_{tr}(d_{sr}, w_k) \quad \text{auf die Zugzone } b_t \cdot h_t \text{ bezogener Bewehrungsanteil bei überwiegender Zwangsbeanspruchung (Tab. 8a,b)}$$

$$d_{s,gr} = d_{sr} \cdot k \cdot k_1 \cdot k_2 \quad \text{Grenzdurchmesser der Bewehrung}$$

$$k = \frac{h_t}{5 \cdot h_1} \geq 1 \quad \text{bei Biegerissen } h_t < h$$

$$k = \frac{h_t}{10 \cdot h_1} \geq 1 \quad \text{bei Trennrissen}$$

$$h_t = \frac{h - x_s}{1 - N/(A_c \cdot f_{ctm})} \leq h \quad \text{Höhe der Zugzone im Zustand 1 bei Erreichen der Betonzugfestigkeit. Bei überwiegendem Druck } (h_t \leq h_1) \text{ ist keine Beschränkung des Stabdurchmessers erforderlich.}$$

$$k_1 = 30/f_{ck} \leq 1.0$$

k_2 Beiwert zur Berücksichtigung nichtlinear verteilter Betonzugspannungen ...
... infolge selbst hervorgerufenem Zwang (z.B. Hydratationswärme)

$$k_2 = 0.8 \quad \text{für } h \leq 300 \text{ mm}$$

$$k_2 = 0.6 \quad \text{für } h \geq 800 \text{ mm}$$

Zwischenwerte werden geradlinig interpoliert.

... infolge außerhalb des Querschnitts hervorgerufenem Zwang (z.B. Stützensenkung)

$$k_2 = 1.0$$

7.3.2 überwiegende Lastbeanspruchung (4.2.3)

$$d_{s,gr} \leq \lim d_s(\sigma_{sD}, \rho_t, w_k)$$

mit dem zulässigen Bewehrungsdurchmesser (Tab. 9, 10)

$$\lim d_s = d_{sr} \cdot k, \quad k \text{ s.o.}$$

σ_{sD} Spannung in der Bewehrung im Zustand 2

ρ_t vorhandener Bewehrungsgrad bei überwiegender Lastbeanspruchung

Die Spannungen werden auf Gebrauchslastniveau ($\gamma_c = \gamma_s = 1$) mit den gewählten Spannungsdehnungslinien ermittelt (s. Abs. 1, S. 9).

7.4

Rissnachweis nach P. Schießl

$$w_{k,cal} = k_4 \cdot \left(50 + 0.25 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot \frac{d_s}{\mu_{Zw}} \right) \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} \cdot \left(1 - \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \left(\frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s} \right)^2 \right) \quad \text{mit}$$

Streuungsfaktor $k_4 = 1.7$

Faktor k_2 zur Beschreibung der Verbundeigenschaften: gut $k_2 = 0.8$, schlecht $k_2 = 1.6$

Faktor k_3 zur Berücksichtigung der Spannungsverteilung in der Zugzone:

Biegung $k_3 = 0.5$, Zug $k_3 = 1.0$

Stabdurchmesser d_s in mm

$$\mu_{Zw} = \frac{A_s}{b \cdot h_w} \quad \text{mit} \quad \begin{array}{l} h_w = k_5 \cdot (d - h) \leq (d - h)/3 \quad (\text{Biegung}) \\ h_w = k_5 \cdot (d - h) \leq d/2 \quad (\text{Zug}) \end{array}$$

Faktor k_5 zur Festlegung der Größe der Wirkungszone, $k_5 = 2.5$

$$\beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \left(\frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s} \right)^2 \leq 0.6$$

Faktor β_1 zur Berücksichtigung des Einflusses der Verbundeigenschaften:

gut $\beta_1 = 1.0$, schlecht $\beta_1 = 0.5$

Faktor β_2 zur Berücksichtigung des Einflusses der Lastdauer, hier nur Dauerlast $\beta_2 = 0.5$

$$\sigma_{sr} = 0.2 \cdot \frac{\beta_{bz}}{\mu} \quad (\text{Biegung})$$

$$\sigma_{sr} = \frac{\beta_{bz}}{\mu} \quad (\text{Zug})$$

$$\beta_{bz} = k_{z,t} \cdot k_E \cdot 0.3 \cdot \beta_{WN}^{2/3} \quad \text{mit} \quad \begin{array}{l} k_E = 0.8 \quad \text{für } d \leq 30 \text{ cm} \\ k_E = 0.6 \quad \text{für } d \geq 80 \text{ cm} \end{array}$$

Für d wird der kleinere Wert aus Höhe und Breite des Querschnitts angesetzt. Zwischenwerte werden interpoliert.

7.5

Rissnachweis nach P. Noakowski

$$w_k = \gamma_w \cdot C_E \cdot 3.1 \cdot \left(\frac{\sigma_{s1}^B}{\beta_W^{0.66}} \cdot d_s \right)^{1/A} \cdot \frac{\sigma_s - C_E \cdot 0.56 \cdot \sigma_{s1}}{E_s} \quad \text{mit}$$

$\gamma_w = 1.5$ Streubeiwert der Rissbreite

$C_E = 1.0$ wenn $\sigma_s = \sigma_{s1}$ (Erstrisszustand)

$C_E = 0.75$ wenn $\sigma_s > \sigma_{s1}$ (Endrisszustand)

$$\beta_W = \beta_{WN} + 5 \text{ MN/m}^2$$

$$\sigma_{s1} = 0.22 \cdot \frac{\beta_Z}{\mu} \quad (\text{Biegung})$$

$$\sigma_{s1} = 0.50 \cdot \frac{\beta_Z}{\mu} \quad (\text{Zug})$$

$$\beta_Z = C_\beta \cdot \beta_W^{0.66} \cdot (0.85 - 0.2 \cdot d) \cdot \frac{0.6 + 6 \cdot C_d \cdot \eta}{1.0 + 6 \cdot \eta} \quad \text{mit}$$

$$C_\beta = 0.46, \quad C_d = \frac{2.6 + 24 \cdot d}{1.0 + 4.0 \cdot d}, \quad \eta = \frac{M}{N \cdot d}$$

Exponenten A, B in Abhängigkeit des Verbundbereichs:

günstig A = 1.12, B = 0.88, ungünstig A = 1.02, B = 0.98



Wenn der Zeitpunkt der Erstrissbildung nicht mit Sicherheit innerhalb der ersten 28 Tage festgelegt werden kann, sollte mindestens die Festigkeit eines B35 angenommen werden. Im Programm kann eingestellt werden, ob für $k_{zt} \geq 1$ min β_{bz} eingehalten werden soll.

7.6 besondere Hinweise bei Kreisquerschnitten

Der Nachweis bereitet bei Kreisquerschnitten unter Biegebeanspruchung Schwierigkeiten, da das Verfahren mit Ausnahme der ÖNorm nur für Rechteckquerschnitte gültig war, bei denen alle Bewehrungsstäbe der Zugzone die gleiche Spannung haben.

Aus diesem Grund ist auch der auf die Zugzone bezogene Bewehrungsgehalt nicht eindeutig.

Zur realistischen Bemessung sind daher für die Verfahren zur 'direkten Berechnung der Rissbreite' folgende Modifikationen implementiert worden (s. hierzu Bergfelder/Dittfach).

Die Stahlspannungen werden bei Biegung über die gemittelten Zug-Stahldehnungen, bei zentrischem Zug über die maximale Stahldehnung ermittelt.

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

$$A_{c,eff} = 0.5 \cdot k_5 \cdot (1-\rho) \cdot (5\rho-1) \cdot A_c$$

$$\rho = \frac{r_s}{r_b}$$

r_s Radius zur Bewehrung
 r_b Außenradius

$$k_5 = 1 - 2.5 \cdot \left[\frac{1-\rho}{g \cdot \rho^2 + 2} \right] \leq 1$$

$$g = \frac{N \cdot r_b}{M} \geq \frac{2}{\rho^2}$$

7.6.2 Schießl, Noakowski

Biegezwang σ_r wird mit 2.2 multipliziert

Zugzwang σ wird mit 2.0 vervielfacht



Da diese Anpassungen nur bei der 'Berechnung der Rissbreiten' wirken, ergibt sich u.U. bei der tabellenorientierten Nachweisführung (bezogen auf einen Rechteckquerschnitt) zu wenig Bewehrung!

7.7 besondere Hinweise bei Wänden

Bei schubfest mit dem Fundament verbundenen Wänden darf die Mindestbewehrung aus Zwang aufgrund der rissverteilenden Wirkung des Fundaments bis zu einer Wandhöhe von $h/4$ oberhalb des Fundaments auf die Hälfte reduziert werden.

Spannungsnachweis

Die Eurocode-nahen Normen DIN 1045-1, DIN-Fb 102 und EC 2 sind bis auf wenige Unterschiede identisch. Im Folgenden wird sich auf DIN 1045-1 bezogen, Unterschiede zum DIN-Fachbericht und zum EC 2 sind besonders gekennzeichnet. Eine Zusammenstellung der korrespondierenden Kapitel und Gleichungen ist unter Abs. 15, S. 62, zu finden.



Anmerkungen zum EC 2: Der deutsche Nationale Anhang des Eurocodes wird in den **pcae**-Programmen derzeit nicht unterstützt. Sämtliche Parameter, die nicht frei eingebbar sind, folgen somit der Empfehlung des Eurocodes.

Der Spannungsnachweis ist in DIN 1045 und ÖN B 4700 nicht geregelt und wird daher auch nicht unterstützt.

Der Nachweis zur Begrenzung der Stahl- und Betondruckspannungen im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit ist nur in den Eurocode-nahen Normen vorgeschrieben, da eine sehr weit reichende Berücksichtigung des **plastischen Verformungsverhaltens** bis hin zu **vollplastischen Berechnungsverfahren** zugelassen ist. Für das nutzungsgerechte und dauerhafte Verhalten eines Bauwerks sind allerdings übermäßige Schädigungen des Betongefüges sowie nichtelastische Verformungen des Betonstahls durch Einhaltung von Spannungsgrenzen zu vermeiden.

Nachweis für den Beton <input checked="" type="checkbox"/>	
zul $\sigma_c =$ <input type="text" value="0.60"/>	$\cdot f_{ck} =$ <input type="text" value="21.1"/> N/mm ²
<input checked="" type="radio"/> Faktor vorgeben	<input type="radio"/> Spannung vorgeben
Nachweis für die Bewehrung <input checked="" type="checkbox"/>	
zul $\sigma_s =$ <input type="text" value="0.80"/>	$\cdot f_{yk} =$ <input type="text" value="400.0"/> N/mm ²
<input checked="" type="radio"/> Faktor vorgeben	<input type="radio"/> Spannung vorgeben
<input type="checkbox"/> Der Querschnitt befindet sich im Zustand 1	
Spannungsermittl. am <input type="text" value="Brutto-"/> <input type="text" value="Querschnitt"/>	

Dies erfordert die Eingabe der beiden Grenzwerte zul σ_c für den Beton und zul σ_s für den Stahl sowie die Bereitstellung einer maßgebenden Schnittgrößenkombination. Diese ist aufgrund des unterschiedlichen Nachweisniveaus n. DIN 1045-1 grundsätzlich im Lasteigenschaftsblatt einzugeben. Ist ein Grenzwert mit Null eingegeben, wird der Nachweis für diese Materialgruppe nicht geführt.

Nach Abschn. 11.1.2 sollen die Betondruckspannungen zur Vermeidung von Längsrissen unter der seltenen Einwirkungskombination auf den Wert von $zul \sigma_c = 0.6 \cdot f_{ck}$ begrenzt werden. Falls die Gebrauchstauglichkeit, Tragfähigkeit oder Dauerhaftigkeit des Bauwerks durch das Kriechen wesentlich beeinflusst werden, ist unter der quasi-ständigen Einwirkungskombination der Wert von $zul \sigma_c = 0.45 \cdot f_{ck}$ einzuhalten.

Die Zugspannungen in der Betonstahlbewehrung sind n. 11.1.3 bei direkten Einwirkungen (Lastbeanspruchung) unter der seltenen Einwirkungskombination auf den Wert von $zul \sigma_s = 0.8 \cdot f_{yk}$ zu begrenzen. Bei reiner Zwangsbeanspruchung darf $zul \sigma_s = f_{yk}$ gelten.

Die Druck- und Zugspannungen werden auf Gebrauchslastniveau ($\gamma_c = \gamma_s = 1$) mit den gewählten Spannungsdehnungslinien ermittelt (s. Abs. 1, S. 9).

Der Spannungsnachweis wird folgendermaßen durchgeführt: Zunächst wird iterativ der vorhandene Bewehrungsquerschnitt erhöht, bis die zulässigen Stahlspannungen eingehalten sind. Anschließend erfolgt eine Überprüfung und ggf. Erhöhung der Bewehrung auf der Druckseite bis auch der Betongrenzwert stimmt. Ist einer der beiden Grenzwerte = 0, wird der entsprechende Nachweis ignoriert.

Ermüdungs- (Schwing-)nachweis

Die Eurocode-nahen Normen DIN 1045-1, DIN-Fb 102 und EC 2 sind bis auf wenige Unterschiede identisch. Im Folgenden wird sich auf DIN 1045-1 bezogen, Unterschiede zum DIN-Fachbericht und zum EC 2 sind besonders gekennzeichnet. Eine Zusammenstellung der korrespondierenden Kapitel und Gleichungen ist unter Abs. 15, S. 62, zu finden.



Anmerkungen zur DIN 1045-1: Die neueste Ausgabe der Norm (August 2008) ist derzeit noch nicht eingeführt, kann aber in *pcae*-Programmen bereits zur Bemessung herangezogen werden. Unterschiede gegenüber der Ausgabe Juli 2001 sind besonders gekennzeichnet.

Anmerkungen zum EC 2: Der deutsche Nationale Anhang des Eurocodes wird in den *pcae*-Programmen derzeit nicht unterstützt. Sämtliche Parameter, die nicht frei einbar sind, folgen somit der Empfehlung des Eurocodes.

Der Ermüdungsnachweis ist in der ÖN B 4700 nicht geregelt und wird daher auch nicht unterstützt.

Tragende Bauteile, die einer hohen Anzahl von Lastwechseln unterworfen sind (nicht ruhende Belastung), können infolge Ermüdung versagen, auch wenn die Beanspruchung die für die statischen Nachweise (ruhende Belastung) maßgebenden Materialfestigkeiten nicht erreicht. Für Tragwerke des üblichen Hochbaus braucht i. A. kein Nachweis gegen Ermüdung geführt werden.

9.1 Schwingnachweis DIN 1045, 17.8

Schwingbreite $\Delta\sigma$ 80 N/mm²
DIN 1045, 17.8

Der Schwingnachweis ist nur für den Betonstahl zu führen.

Die Spannungsdifferenz aus Ober- und Unterlast $\Delta\sigma_s = \sigma_{s0} - \sigma_{su}$ darf die eingegebene Schwingbreite $\Delta\sigma_s$ nicht überschreiten.

Die Spannungen werden mit dem Parabel-Rechteck-Diagramm für Beton und der bilinearen Spannungsdehnungslinie für die Bewehrung ermittelt (s. Abs. 1, S. 9).

Der Schwingbreitennachweis wird folgendermaßen durchgeführt: der vorhandene Bewehrungsquerschnitt wird iterativ erhöht bis die zulässige Schwingbreite eingehalten ist. Kann keine Lösung gefunden werden, wird eine Fehlermeldung ausgegeben.

9.2 Ermüdungsnachweis DIN 1045-1, 10.8

Der Ermüdungsnachweis ist i.A. für den Beton und Betonstahl unter Biegung, Längs- und Querkraft zu führen.

In *pcae*-Programmen werden derzeit - je nach Ausbaustufe - folgende Nachweisverfahren angeboten:

- 10.8.3: Nachweis über schädigungsäquivalente Schwingbreiten (Stufe 2, Grenzzustand der Tragfähigkeit)
- 10.8.4: Vereinfachter Nachweis (Stufe 1, Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit) incl. Nachweis für Querkraft

nach DIN 1045-1 10.8.3

im Grenzzustand der Tragfähigkeit:
maßgebende Einwirkungskombinationen
nach 10.8.3 (3)

Nachweis für Bewehrung

$\Delta\sigma_{Rsk}$ 175.0 N/mm²

Nachweis für Beton

Zeitpunkt der Erstbelastung t_0 28 d

Nachweis für Querkraft

$\Delta\sigma_{RskU}$ 119.0 N/mm²

Bei beiden Verfahren erfolgt der Nachweis zunächst für die Bewehrung (Eingabe der Spannungsschwingbreite $\Delta\sigma$). Dazu wird der vorhandene Bewehrungsquerschnitt solange iterativ erhöht bis für jede Bewehrungsgruppe die zulässige Schwingbreite eingehalten ist.

Anschließend wird überprüft, ob der Beton unter Druckbeanspruchung (Eingabe des Zeitpunkts der Erstbelastung des Betons t_0) trägt. Falls der Nachweis für Beton nicht erfüllt ist, erfolgt keine weitere Bewehrungserhöhung, sondern es wird eine Fehlermeldung ausgegeben.

Dazu sind zwei Schnittgrößenkombinationen der maßgebenden ermüdungswirksamen Einwirkungskombination im Lasteigenschaftsblatt vorzugeben. Ist ein Wert (entweder $\Delta\sigma_s$ oder t_0) mit Null eingegeben, wird der Nachweis für diese Materialgruppe nicht geführt.

Die Spannungen werden auf Gebrauchslastniveau ($\gamma_c = \gamma_s = 1$) mit den gewählten Spannungsdehnungslinien ermittelt (s. Abs. 1, S. 9).

9.2.1 Nachweis n. Abschn. 10.8.4 (Stufe 1, GZG)

Der vereinfachte Nachweis ist mit der häufigen Einwirkungskombination im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit zu führen.

9.2.1.1 Bewehrung

$$\Delta\sigma_s \leq \text{zul}\Delta\sigma_s \quad \text{mit} \quad \text{zul}\Delta\sigma_s = 70 \text{ N/mm}^2$$

Gilt auch für die Querkraftbewehrung (s. Abs. 6.1.1, S. 26) mit

$$\tan \Theta_{\text{fat}} = \sqrt{\tan \Theta} \quad \text{für} \quad \tan \Theta < 1$$

$$\tan \Theta_{\text{fat}} = \tan \Theta \quad \text{für} \quad \tan \Theta \geq 1$$

9.2.1.2 Beton

$$\frac{\sigma_{\text{cd,max}}}{f_{\text{cd,fat}}} \leq 0.5 + 0.45 \cdot \frac{|\sigma_{\text{cd,min}}|}{f_{\text{cd,fat}}} \begin{cases} \leq 0.9 & \text{ab C50/60 oder LC50/55} \\ \leq 0.8 & \text{ab C55/67 oder LC55/60} \end{cases} \quad \text{mit}$$

$$f_{\text{cd,fat}} = \beta_{\text{cc}}(t_0) \cdot f_{\text{cd}} \cdot \left(1 - \frac{f_{\text{ck}}}{250}\right)$$

f_{ck} charakteristische Zylinderdruckfestigkeit des Betons nach 28 Tagen

$\sigma_{\text{cd,max}}$ Bemessungswert der maximalen Druckspannung

$\sigma_{\text{cd,min}} < 0$ Bemessungswert der minimalen Druckspannung am Ort von $\sigma_{\text{cd,max}}$

$\beta_{\text{cc}}(t_0) = e^{0.2 \cdot (1 - \sqrt{28/t_0})}$ Beiwert für die Nacherhärtung

t_0 Zeitpunkt der Erstbelastung des Betons in Tagen

Gilt auch für die Druckstreben von querkraftbeanspruchten Bauteilen mit Querkraftbewehrung, wobei

$$f_{\text{cd,fat,V}} = \alpha_c \cdot f_{\text{cd,fat}} \quad \text{und} \quad \alpha_c = 0.75 \cdot \eta_1$$

Bauteile ohne Querkraftbewehrung:

$$\text{wenn, } \frac{V_{\text{Ed,min}}}{V_{\text{Ed,max}}} \geq 0.0 : \frac{|V_{\text{Ed,max}}|}{|V_{\text{Rd,ct}}|} \leq 0.5 + 0.45 \cdot \frac{|V_{\text{Ed,min}}|}{|V_{\text{Rd,ct}}|} \begin{cases} \leq 0.9 & \text{ab C50/60 oder LC50/55} \\ \leq 0.8 & \text{ab C55/67 oder LC55/60} \end{cases}$$

$$\text{wenn, } \frac{V_{\text{Ed,min}}}{V_{\text{Ed,max}}} < 0.0 : \frac{|V_{\text{Ed,max}}|}{|V_{\text{Rd,ct}}|} \leq 0.5 - \frac{|V_{\text{Ed,min}}|}{|V_{\text{Rd,ct}}|} \quad \text{mit}$$

$V_{\text{Ed,max}}$ Bemessungswert der maximalen Querkraft

$V_{\text{Ed,min}}$ Bemessungswert der minimalen Querkraft am Ort von $V_{\text{Ed,max}}$

$V_{\text{Rd,ct}}$ Bemessungswert der aufnehmbaren Querkraft (s. Abs. 6.1.1, S. 26)

9.2.2 Nachweis n. Abschn. 10.8.3 (Stufe 2, GZT)

Falls der vereinfachte Nachweis versagt, kann anstelle eines expliziten Betriebsfestigkeitsnachweises der Nachweis gegen Ermüdung über schädigungsäquivalente Spannungsschwingbreiten für die Bewehrung und schädigungsäquivalente Druckspannungen für den Beton geführt werden. Im allgemeinen Hochbau sind nach 10.8.3(3) die folgenden Einwirkungskombinationen zu berücksichtigen:

- ständige Einwirkungen,
- wahrscheinlicher Wert der Setzungen, sofern ungünstig wirkend,
- häufiger Wert der Temperatureinwirkung, sofern ungünstig wirkend,
- Einwirkungen aus Nutzlasten.



Ständige Lasten, Setzungen und Temperatureinwirkungen verändern i. A. nicht die Spannungsschwingbreiten, sondern beeinflussen lediglich das Nachweisniveau.

Soll dagegen ein Industriebauwerk erstellt werden, ist natürlich die

- maßgebende ermüdungswirksame Einwirkung (z.B. aus Kranbahn- oder Gabelstaplerbelastung)

zusätzlich anzusetzen.

9.2.2.1

Bewehrung

$$Y_{F,fat} \cdot Y_{Ed,fat} \cdot \Delta\sigma_{s,equ} \leq \Delta\sigma_{Rsk}(N^*) / Y_{s,fat} \text{ mit}$$

$$Y_{F,fat} = Y_{Ed,fat} = 1.0$$

$$Y_{s,fat} = Y_s$$

$$\Delta\sigma_{Rsk}(N^*) \quad \text{Spannungsschwingbreite für } N^* \text{ Lastzyklen}$$

DIN 1045-1 (7.01):

$$\text{für } N^* = 10^6: \quad \Delta\sigma_{Rsk} = \xi_1 \cdot \xi \cdot 195 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{gerade und gebogene Stäbe})$$

$$\text{für } N^* = 10^7: \quad \Delta\sigma_{Rsk} = \xi_1 \cdot 58 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{geschweißte Stäbe einschl. Heft- und Stumpfstoßverbindungen})$$

$$\text{mit } \xi = 0.35 + 0.026 \cdot d_{br} / d_s \leq 1.0$$

d_{br} Biegerollendurchmesser

d_s Stabdurchmesser

$$\xi_1 = 1.0 \text{ für } d_s \leq 28 \text{ mm}, \quad \xi_1 = 0.8 \text{ für } d_s > 28 \text{ mm}$$

DIN 1045-1 (8.08):

$$\text{für } N^* = 10^6: \quad \Delta\sigma_{Rsk} = \xi_1 \cdot 175 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{gerade und gebogene Stäbe})$$

$$\text{mit } \xi_1 = 0.35 + 0.026 \cdot d_{br} / d_s \leq 1.0$$

d_{br} Biegerollendurchmesser

d_s Stabdurchmesser

$$\text{für Stäbe mit } d_s > 28 \text{ mm}: \quad \Delta\sigma_{Rsk} = 145 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{nur hochduktile Betonstähle})$$

$$\text{für } N^* = 10^6: \quad \Delta\sigma_{Rsk} = 85 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{geschweißte Stäbe und Betonstahlmatten einschl. Heft- und Stumpfstoßverbindungen})$$

$\Delta\sigma_{s,equ}$ schädigungsäquivalente Spannungsschwingbreite (i.A. $\Delta\sigma_{s,equ} = \max \Delta\sigma_s$)

$\max \Delta\sigma_s$ maximale Spannungsamplitude

9.2.2.2

Beton

$$E_{cd,max,equ} = \frac{|\sigma_{cd,max,equ}|}{f_{cd,fat}} \quad \text{mit}$$

$$E_{cd,max,equ} + 0.43 \cdot \sqrt{1 - R_{equ}} \leq 1.0$$

$$R_{equ} = \frac{\sigma_{cd,min,equ}}{\sigma_{cd,max,equ}}$$

$\sigma_{cd,max,equ}, \sigma_{cd,min,equ}$

obere bzw. untere Spannung der schädigungsäquivalenten Spannungsschwingbreite.

10

Verformungsnachweis

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 unter Abs. 15, S. 62, 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.

Die Verformungen eines Bauteils oder eines Tragwerks dürfen weder die ordnungsgemäße Funktion noch das Erscheinungsbild des Bauteils selbst oder angrenzender Bauteile beeinträchtigen.

Es darf angenommen werden, dass das Erscheinungsbild und die Gebrauchstauglichkeit eines Tragwerks nicht beeinträchtigt werden, wenn der Durchhang unter der quasi-ständigen Einwirkungskombination (bzw. unter Gebrauchslast) das 1/250-fache der Stützweite (bei Kragträgern das 1/100 der Kraglänge) nicht überschreitet.

Der Grenzzustand der Verformung kann nachgewiesen werden

- über die Begrenzung der Biegeschlankheit (ohne direkte Berechnung),
- nach Grasser/Thielen (Heft 240, DAfStb).

10.1

Verformungsnachweis n. DIN 1045, 17.7.2

Begrenzung der Biegeschlankheit

- die Schlankheit von biegebeanspruchten Bauteilen darf nicht größer sein als 35.
- bei Bauteilen, die Trennwände zu tragen haben, soll die Schlankheit $l_i/h \leq 150/l_i$ (l_i und h in m) sein.
- die Ersatzstützweite l_i wird nach Heft 240, DAfStb, angenommen zu $l_i = \alpha \cdot L$ (α s. Heft 240, DAfStb).
- das Verfahren ist nur anwendbar, wenn $\alpha \geq 0$ gilt.

10.2

Verformungsnachweis n. DIN 1045-1, 11.3.2 / ÖN B 4700, 4.3.2

Begrenzung der Biegeschlankheit

- die Schlankheit von biegebeanspruchten Bauteilen darf nicht größer sein als 35.
- bei Bauteilen, die Trennwände zu tragen haben, soll die Schlankheit $l_i/h \leq 150/l_i$ (l_i und h in m) sein.
- die Ersatzstützweite l_i wird nach Heft 240, DAfStb, angenommen zu $l_i = \alpha \cdot l_{\text{eff}}$ (α s. Tab.22 oder Heft 240, DAfStb).
- das Verfahren ist nur anwendbar, wenn $\alpha \geq 0$ gilt.
- bei Leichtbeton sind die Grenzwerte mit $\eta_E^{0.15}$ abzumindern.

10.3

Verformungsnachweis n. EC 2, 7.4.2

Begrenzung der Biegeschlankheit

- der Grenzwert der Biegeschlankheit wird nach Gl. 7.16 ermittelt zu

$$\frac{l_{\text{eff}}}{d} = K \cdot \left[11 + 1.5 \cdot \sqrt{f_{\text{ck}}} \cdot \frac{\rho_0}{\rho} + 3.2 \cdot \sqrt{f_{\text{ck}}} \cdot \left(\frac{\rho_0}{\rho} - 1 \right)^{\frac{3}{2}} \right] \quad \text{wenn } \rho \leq \rho_0$$

$$\frac{l_{\text{eff}}}{d} = K \cdot \left[11 + 1.5 \cdot \sqrt{f_{\text{ck}}} \cdot \frac{\rho_0}{\rho - \rho'} + \frac{1}{12} \cdot \sqrt{f_{\text{ck}}} \cdot \sqrt{\frac{\rho'}{\rho_0}} \right] \quad \text{wenn } \rho > \rho_0$$

K Beiwert zur Berücksichtigung der verschiedenen statischen Systeme kann einem nationalen Anhang entnommen werden. Voreingestellt sind mit $K = 0$ die Werte aus Tab.7.4N.

$$\rho_0 = \sqrt{f_{\text{ck}}} \cdot 10^{-3} \quad \text{Referenzbewehrungsgrad, } f_{\text{ck}} \text{ in N/mm}^2$$

ρ, ρ' erforderlicher Zug-, Druckbewehrungsgrad in Feldmitte (am Einspannquerschnitt von Kragträgern)

- bei Bauteilen, die Trennwände zu tragen haben, sind die Werte mit $7/l_{\text{eff}}$ (l_{eff} in m) zu multiplizieren.
- bei Plattenbalken oder I-Profilen mit einem Verhältnis von mitwirkender Breite zu Stegbreite > 3 sind die Werte mit 0.8 zu multiplizieren.
- bei Leichtbeton sind die Grenzwerte mit $\eta_E^{0.15}$ abzumindern (11.7(1)P).

Nach NA-DE sollten die Biegeschlankheiten auf die Maximalwerte begrenzt werden

- allgemein: $l/d \leq K \cdot 35$
- Bauteile mit verformungsempfindlichen Ausbauelementen: $l/d \leq K^2 \cdot 150 / l$



Die Biegeschlankheitsgrenzen nach EC2 sind deutlich strenger als die aus DIN 1045-1, da die Schadensfreiheit mit dem Nachweis nach der älteren Norm aufgrund der höheren Ausnutzung der Tragwerke nicht mehr in jedem Fall gewährleistet ist.

Wird trotzdem der Nachweis der Biegeschlankheit nach DIN 1045-1 gewählt, muss beachtet werden, dass die Einstellung 'Vorgabe des Beiwerts K' entsprechend interpretiert wird als 'Vorgabe des Beiwerts α' (s.o.).

10.4

Verformungsnachweis n. Heft 240, DAfStb

Beschränkung der Durchbiegung unter Gebrauchslast

Es wird die wahrscheinliche Durchbiegung des Trägers zum Anfangs- sowie Endzeitpunkt der Lastaufbringung ermittelt, die zwischen derjenigen im Zustand 1 (Träger vollständig ungerissen) und Zustand 2 (Träger vollständig gerissen) liegt.

Dazu wird die Ersatzstützweite $l_i = \alpha \cdot L$ bestimmt über

$$\alpha = \frac{1 + 4.8 \cdot (m_1 + m_2)}{1 + 4 \cdot (m_1 + m_2)} \quad \text{(für beidseits gestützte Felder von Durchlaufträgern) bzw.}$$

$$\alpha = 0.8 \cdot \left[\frac{l}{l_k} \cdot \left(4 + 3 \cdot \frac{l_k}{l} \right) - \frac{q}{q_k} \cdot \left(\frac{l}{l_k} \right)^3 \cdot (4 \cdot m_k + 1) \right] \quad \text{(für Kragbalken an Durchlaufträgern)}$$

m_1, m_2, m_k auf $q \cdot l^2$ bezogene Momente über den Stützen des betrachteten Innenfeldes (m_1, m_2) bzw. über der vom Kragarm abliegenden Stütze des anschließenden Innenfeldes (m_k).

q, q_k maßgebliche Gleichlast des untersuchten Feldes (q), bei Kragträgern des an den Kragarm anschließenden Feldes (q) bzw. die maßgebliche Gleichlast des Kragarmes (q_k).

l, l_k Stützweite des untersuchten Feldes (l), bei Kragträgern des an den Kragarm anschließenden Feldes (l) bzw. die Kragarmlänge (l_k).

Das Verfahren ist nur anwendbar, wenn gilt

$$m_1 \geq -\left(m_2 + \frac{5}{24}\right) \quad \text{bei beidseits gestützten Feldern von Durchlaufträgern}$$

$$m_k \leq \frac{q_k}{q} \cdot \left(\frac{l_k}{l}\right)^2 \cdot \left[4 + 3 \cdot \frac{l_k}{l}\right] - \frac{1}{4} \quad \text{bei Kragbalken an Durchlaufträgern}$$

Die Berechnungen der Durchbiegungen setzen sich zusammen aus dem Grundwert der Durchbiegung, Anteilen aus der Bewehrungsmenge und -anordnung, Kriech- sowie Schwindanteilen.

Aus den Durchbiegungen zu den Zeitpunkten t_0 und t_∞ im reinen Zustand 1 und 2 wird die wahrscheinliche Durchbiegung ermittelt zu

$$f_0 = f_0^{\parallel} - \frac{M_{R0}}{M_F} (f_0^{\parallel} - f_0^{\perp}) \quad \text{zum Zeitpunkt } t_0$$

$$f_\infty = f_\infty^{\parallel} - \frac{M_{R\infty}}{M_F} (f_\infty^{\parallel} - f_\infty^{\perp}) \quad \text{zum Zeitpunkt } t_\infty$$

$$\frac{M_{R0}}{M_F} \leq 1 \quad \text{bzw.} \quad \frac{M_{R\infty}}{M_F} \leq 1 \quad M_R \text{ Rissmoment, } M_F \text{ maximales Feld- bzw. Kragmoment im betrachteten Bauteil}$$

11 mitwirkende Plattenbreite

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 unter Abs. 15, S. 62, zu finden.

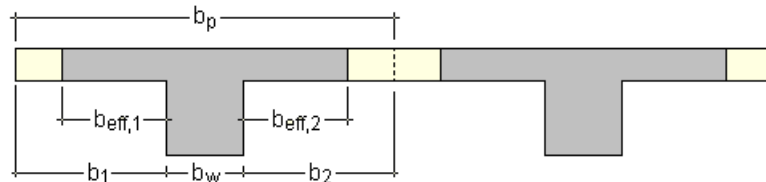


Anmerkungen zum EC 2: Der deutsche Nationale Anhang des Eurocodes wird in den **pcae**-Programmen derzeit nicht unterstützt. Sämtliche Parameter, die nicht frei eingegbar sind, folgen somit der Empfehlung des Eurocodes.

11.1 DIN 1045, 15.3 / DIN 1045-1, 7.3.1 / DIN-Fb 102, 2.5.2.2.1 / EC 2, 5.3.2.1

Bei Plattenbalken- bzw. plattenbalkenähnlichen Querschnitten darf vereinfachend die mitwirkende Plattenbreite bei Durchführung der Nachweise unter Traglast- und Gebrauchslast angesetzt werden.

Das Programm benötigt zur automatischen Ermittlung Angaben über den Untersuchungsort (Endfeld, Innenfeld, Kragarm, Stützbereich, Einfeldträger), die entsprechenden Feldlänge(n) l_i sowie die vorhandenen Gurtbreiten b_i .



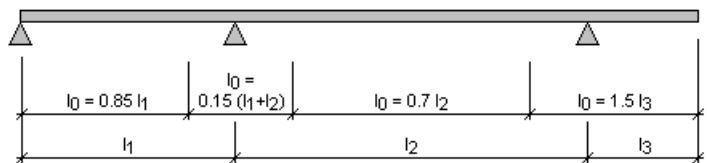
Die mitwirkende Plattenbreite wird dann berechnet zu

$$b_{\text{eff}} = b_w + \sum b_{\text{eff},i} \leq b_p \quad \text{mit} \quad b_{\text{eff},i} = b_{\text{eff},i+1} \quad (\text{nur gleichseitige Plattenbalken}).$$

DIN 1045 bzw. Heft 240, DAfStb $b_{\text{eff},i} = \beta \cdot b_i$ mit β n. Tafel 1.1 oder 1.2

DIN 1045-1, DIN-Fb 102, EC 2 $b_{\text{eff},i} = 0.2 \cdot b_i + 0.1 \cdot l_0 \leq 0.2 \cdot l_0$

ÖN B 4700 $b_{\text{eff},i} = 0.1 \cdot l_0$



EC 2 Für den Kragträger gilt: $l_0 = 0.15 \cdot l_2 + l_3$ wird derzeit nicht unterstützt.

12 Bemessung von unbewehrtem Beton

Die Bemessung von unbewehrtem Beton nach DIN Fb 102 und ÖN B 4700 wird nicht unterstützt.

12.1 DIN 1045, 17.9

Bei Bauteilen aus unbewehrtem Beton dürfen höhere Betonfestigkeiten als B35 rechnerisch nicht ausgenutzt werden. Der Last-Sicherheitsbeiwert ist mit 2.1 anzunehmen.

Die Einflüsse von Schlankheit und ungewollter Ausmitte dürfen näherungsweise durch Verringerung der zulässigen Last mit dem Beiwert K berücksichtigt werden:

$$\kappa = 1 - \frac{\lambda}{140} \cdot \left(1 + \frac{m}{3}\right) \text{ mit}$$

$m = e/k$	bezogene Ausmitte im Gebrauchszustand
$e = M/N$	planmäßige Ausmitte im mittleren Drittel des Knickstabes
$k = W_d/A_b$	Kernweite des Betonquerschnitt (Rechteckquerschnitt: $k = d/6$)
$\lambda = s_k/i$	Schlankheit
s_k	Knicklänge
$i = (I_b/A_b)^{0.5}$	Trägheitsradius in Knickrichtung

Bildet sich eine klaffende Fuge aus, die über den Schwerpunkt des Gesamtquerschnitts geht, ist die Tragfähigkeit überschritten.

12.2 DIN 1045-1

Nach 10.2(2) dürfen bei Bauteilen aus unbewehrtem Beton höhere Betonfestigkeiten als C35/45 bzw. LC20/22 rechnerisch nicht ausgenutzt werden.

12.2.1 Biegemessung

Nach 5.3.3(8) ist der Sicherheitsbeiwert im Grenzzustand der Tragfähigkeit für die ständige und vorübergehende Bemessungssituation mit $\gamma_c = 1.8$ und für außergewöhnliche Bemessungssituationen mit $\gamma_c = 1.55$ anzusetzen.

Bildet sich eine klaffende Fuge aus, die über den Schwerpunkt des Gesamtquerschnitts geht, ist die Tragfähigkeit überschritten.

12.2.2 Druckglieder aus unbewehrtem Beton (Theorie II. Ord.)

Nach 8.6.7(3) darf der Bemessungswert der Normalkraft berechnet werden mit

$$N_{Rd} = -(b \cdot h \cdot f_{cd} \cdot \varphi) \text{ mit}$$

ψ Beiwert zur Berücksichtigung der Auswirkungen nach Th. II. Ord.

Für unverschieblich ausgesteifte Bauteile gilt

$$\varphi = 1.14 \cdot (1 - 2 \cdot e_{tot}/h) - 0.02 \cdot l_0/h \quad \text{und} \quad 0 \leq \varphi \leq 1 - 2 \cdot e_{tot}/h \quad \text{mit}$$

$e_{tot} = e_0 + e_a + e_\varphi$	Gesamtausmitte
e_0	Lastausmitte nach Th. I. O.
e_a	ungewollte zusätzliche Ausmitte infolge geometrischer Imperfektionen ($e_a = 0.5 \cdot l_0/200$)
e_φ	Ausmitte infolge Kriechen (i.A. $e_\varphi = 0$)
l_0	Knicklänge

Nach 8.6.7(2) hat die Schlankheit unbewehrter Druckglieder i.d.R. den Wert $\lambda = 0.85$ nicht zu überschreiten.

Nach 8.6.7(1) ist für Druckglieder aus unbewehrtem Beton mit $l_{col}/h < 2.5$ der Einfluss nach Th. II. Ord. vernachlässigbar.

12.2.3 Schubbemessung

Nach 10.3.7(2) darf ein unbewehrtes Bauteil als ungerissen angesehen werden, wenn die Hauptzugspannung die Größe von 1.0 N/mm^2 nicht überschreitet. Nach 10.3.7(3) ist ansonsten der Bemessungswert der Querkrafttragfähigkeit am ungerissenen Restquerschnitt zu berechnen. Dieser ergibt sich nach 10.3.3(2) unter der Voraussetzung, dass die Betonzugspannungen stets kleiner sind als $f_{ctk;0.05}/\gamma_c$, zu

$$V_{Rd} = V_{Rd,ct} = \frac{I_c \cdot b_w}{S_c} \cdot \sqrt{\left(\frac{f_{ctk;0.05}}{\gamma_c}\right)^2 - \alpha_1 \cdot \sigma_{cd} \cdot \frac{f_{ctk;0.05}}{\gamma_c}} \quad \text{mit}$$

I_c Flächenmoment 2. Grades

S_c Flächenmoment 1. Grades

$\alpha_1 = 1$ Vorfaktor

$f_{ctk;0.05} \leq 2.7 \text{ N/mm}^2$ unterer Quantilwert der Betonzugfestigkeit

γ_c Teilsicherheitsbeiwert für unbewehrten Beton

b_w kleinste Querschnittsbreite

$\sigma_{cd} = N_{Ed}/A_c$ Bemessungswert der Betonlängsspannung in Höhe des Schwerpunkts

12.3 EC 2

12.3.1 Biegebemessung

Nach 12.3.1(1) sind aufgrund der geringeren Duktilität die Werte $\alpha_{cc,pl}$ und $\alpha_{ct,pl}$ geringer anzusetzen als die Werte α_{cc} und α_{ct} für bewehrten Beton.

Der axiale Widerstand ergibt sich nach 12.6.1(3) zu

$$N_{Rd} = \eta f_{cd} \cdot b \cdot h_w \cdot (1 - 2 \cdot e/h_w) \quad \text{mit}$$

ηf_{cd} wirksame Bemessungsdruckkraft

b Gesamtbreite des Querschnitts

h_w Gesamtdicke des Querschnitts

e Lastausmitte von N_{Ed} in Richtung h_w

12.3.2 Auswirkungen von Verformungen (Th. II. Ord.) auf Einzeldruckglieder und Wände

Nach 12.6.5.2(1) darf der Bemessungswert der Normalkraft berechnet werden mit

$$N_{Rd} = \eta f_{cd} \cdot b \cdot h_w \cdot \Phi \quad \text{mit}$$

Φ Faktor zur Berücksichtigung der Lastausmitte

Für ausgesteifte Bauteile gilt

$$\Phi = 1.14 \cdot (1 - 2 \cdot e_{tot}/h_w) - 0.02 \cdot l_0/h_w \leq (1 - 2 \cdot e_{tot}/h_w) \quad \text{mit}$$

$e_{tot} = e_0 + e_i$ Gesamtausmitte

e_0 Lastausmitte nach Th. I. O.

e_i ungewollte zusätzliche Ausmitte infolge geometrischer Imperfektionen

l_0 Knicklänge

Nach 12.6.5.1(5) hat die Schlankheit unbewehrter Druckglieder i.d.R. den Wert $\lambda = 0.86$ nicht zu überschreiten.

12.3.3

Schubbemessung

Nach 12.6.3(3) darf ein unbewehrtes Bauteil als ungerissen angesehen werden, wenn die Hauptzugspannung den Wert f_{ctd} nicht überschreitet. Die Komponenten des Bemessungswertes der Schubspannung sind nach 12.6.3(2) anzusetzen mit

$$\tau_{cp} = k \cdot V_{Ed} / A_{cc} \quad \text{und} \quad \sigma_{cp} = N_{Ed} / A_{cc} \quad \text{mit}$$

$f_{c,d}$ Bemessungswert der Betonfestigkeit bei Querkraft und Druck

$$\text{wenn } \sigma_{cp} \leq \sigma_{c,lim} \quad f_{c,d} = \sqrt{f_{ctd}^2 + \sigma_{cp} \cdot f_{ctd}}$$

$$\text{wenn } \sigma_{cp} > \sigma_{c,lim} \quad f_{c,d} = \sqrt{f_{ctd}^2 + \sigma_{cp} \cdot f_{ctd} - \left(\frac{\sigma_{cp} - \sigma_{c,lim}}{2} \right)^2}$$

$$\sigma_{c,lim} = f_{cd} - 2 \cdot \sqrt{f_{ctd} - (f_{ctd} + f_{cd})}$$

13

Umschnürte Druckglieder

In den Eurocode-nahen Normen werden keine Angaben zur Ermittlung der durch eine wendelförmig angebrachte Bewehrung zusätzlich aufnehmbaren Bruchnormalkraft gemacht. Daher kann der günstige Einfluss einer **Wendelbewehrung** nicht berücksichtigt werden.

13.1

DIN 1045, 17.3.2

Bei relativ großen Betonstauchungen führt eine wendelartige Umschnürung des Druckgliedes zu einer Traglaststeigerung. Dieser Einfluss darf nur bei Druckgliedern mit mindestens der Festigkeitsklasse B 25 und nur bis zu einer Schlankheit ≤ 50 und einer Lastausmitte $< 1/8$ des Kern- bzw. Wendeldurchmessers in Rechnung gestellt werden. Außerdem ist der Einfluss der Zusatzmomente nach Th. II. Ord. zu berücksichtigen, d.h. die Eingabeschnittgrößen sind nach Th. II. Ord. zu ermitteln.

14

Vereinfachter Knicknachweis für Einzeldruckglieder

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 unter Abs. 15, S. 62, 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.

14.1

DIN 1045-1, 8.6 / EC 2, 5.8.3

Bei Einzeldruckgliedern darf durch Vergleich der Schlankheit mit Grenzwerten entschieden werden, ob Einflüsse nach Theorie II. Ordnung berücksichtigt werden müssen.

Einzeldruckglieder gelten als schlank, wenn

$$\lambda > \lambda_{\max} \quad \text{mit}$$

$$\lambda = l_0 / i_T \quad i_T = \sqrt{\frac{I_C}{A_C}} \quad \text{Trägheitsradius des Querschnitts}$$

$$l_0 = \beta \cdot l_{\text{col}} \quad (\beta \text{ nach 8.6.2(4), bei Pendelstützen: } \beta = 1) \quad \text{Knicklänge}$$

$$\lambda_{\max} = \frac{16}{\sqrt{v_{\text{Ed}}}} \geq 25 \quad v_{\text{Ed}} = \frac{|N_{\text{Ed}}|}{A_C \cdot f_{\text{cd}}}$$

Einzeldruckglieder in unverschieblich ausgesteiften Tragwerken brauchen nicht nach Th. II. O. untersucht werden, wenn

$$\lambda > \lambda_{\text{crit}} \quad \text{mit}$$

$$\lambda_{\text{crit}} = 25 \cdot (2 - e_{01}/e_{02})$$

$$e_{01}/e_{02} \leq 1 \quad \text{Verhältnis der Lastausmitten an den Stützenenden.}$$

$$\text{Bei Pendelstützen: } e_{01}/e_{02} = 1.$$

Die Bemessung erfolgt mit dem Modellstützenverfahren (6.8.5).

14.2

DIN 1045-1, 8.6.5 / EC 2, 5.8.8

Das Modellstützenverfahren (DIN 1045-1, 8.6.5) gilt für Druckglieder mit einer Lastausmitte nach Theorie I. Ordnung $e \geq 0.1 \cdot h$, kann aber auch für Lastausmitten $e < 0.1 \cdot h$ angewendet werden.

Die Modellstütze ist eine am Fuß eingespannte, symmetrisch bewehrte Kragstütze der Länge $l = l_0/2$, die eine einfach gekrümmte Verformungsfigur aufweist. Die Übertragung auf anders gelagerte Stützen erfolgt über die Ersatzlänge l_0 .

Die Gesamtausmitte nach Theorie II. Ordnung ergibt sich zu

$$e_{\text{tot}} = e_0 + e_a + e_2$$

$$e_0 = M_{\text{Ed}0}/N_{\text{Ed}} \quad \text{planmäßige Ausmitte im am stärksten beanspruchten Querschnitt}$$

$$e_a = \alpha_{a1} \cdot l_0/2 \quad \text{ungewollte Lastausmitte aus Imperfektionen mit}$$

$$\alpha_{a1} = \frac{1}{100 \cdot \sqrt{l_{col}}} \leq \frac{1}{200} \quad (\text{Winkel der Schiefstellung})$$

$$e_2 = K_1 \cdot K_\varphi \cdot (1/r) \cdot c \cdot l_0^2 \quad \text{zusätzliche Lastausmitte infolge Auswirkungen nach Th. II. O.}$$

$$K_1 = \lambda/10 - 2.5 \leq 1 \quad \text{Anpassungsfaktor}$$

c Beiwert für den Krümmungsverlauf
 (parabelförmig: $c = 5/48$, rechteckförmig: $c = 1/8$, dreieckförmig: $c = 1/12$)
 hier Annahme: $c = 5/48$

$$(1/r) = 2 \cdot K_2 \cdot \varepsilon_{yd} / \Delta h_s \quad \text{Krümmung im kritischen Schnitt,}$$

Δh_s Abstand der Stahllagen (Annahme: $\Delta h_s = 0.9 \cdot d$)

$$K_2 = \frac{N_{ud} - N_{Ed}}{N_{ud} - N_{bal}} \leq 1, \quad N_{ud} = -(f_{cd} \cdot A_c + f_{yd} \cdot A_s)$$

hier: Annahme $K_2 = 1$ (liegt auf der sicheren Seite)

$$K_\varphi = 1 + \beta \cdot \varphi_{eff} \geq 1 \quad \text{Beiwert zur Berücksichtigung von Kriechinflüssen}$$

$\varphi_{eff} = \varphi(\infty, t_0) \cdot M_{1perm} / M_{1Ed}$ mit $\varphi(\infty, t_0)$ Endkriechzahl und
 M_{1perm} / M_{1Ed} Verhältnis der Biegemomente unter quasi-
 ständiger (GZG) zur Bemessungs-Einwirkungskombination
 (GZT) nach Th. I. O. inkl. Imperfektionen

$$\beta = 0.35 + f_{ck} / 200 - \lambda / 150 \geq 0$$

Die Stütze wird bemessen für $M_{Ed, Th. II. O.} = N_{Ed} \cdot e_{tot}$, wobei $e_{tot} \geq h/20$ (s. 8.6.3(9)).

DIN 1045-1 (7.01, 8.08)	DIN-Fb 102 (3.09)	DIN EN 1992-1-1 (EC2, 10.05)	ÖNORM B 4700 (6.01)	Thema
3.1	1.4	1.5	-	Begriffe
5.3.3 (8)	-	12.3.1 (1)	-	unbewehrter Beton - Sicherheitsniveau
7.3.1	2.5.2.2.1	5.3.2.1	3.3.4	mitwirkende Plattenbreite
8.2 (3)	2.5.3.4.2 (5)	5.6.3 (2)	3.3.2.1 (2)	Vereinfachter Nachweis der plastischen Rotation
8.2 (5)	2.5.3.3 (5)*	5.3.2.2 (3)	3.3.3.1 (3)	Mindeststützmoment am Auflagerrand
8.3 (3)	2.5.3.4.2 (3)*P	5.5 (4)	3.3.2.1 (2)	Umlagerungsgrenzen
9.1	3.1.4	3.1	3.4.1.1	Betonfestigkeitsklassen
9.1.4	3.1.5.5	3.1.4	3.2.1 (2), (3)	Beton - Kriechen und Schwinden
9.1.5	4.2.1.3.3 a), Abb. 4.1	3.1.5	-	Beton (Spannungsdehnungslinie für Verformungsberechnungen)
9.1.6	4.2.1.3.3 b), Abb. 4.2	3.1.7	3.4.1.1 (4)	Beton (Spannungsdehnungslinie für die Bemessung, Parabel-Rechteck-Diagr.)
Tab. 9, Tab. 10	Tab. 3.1, Tab. 3.2	Tab. 3.1, 11.3.1	Tab. 4	Betonkennwerte
9.2.3	4.2.2.3.2 a), Abb. 4.5 a)	3.2, Anhang C	-	Betonstahl (Spannungsdehnungslinie für Verformungsberechnungen)
9.2.4	4.2.2.3.2 b), Abb. 4.5 b)	3.2	3.4.1.2	Betonstahl (Spannungsdehnungslinie für die Bemessung)
10.2	4.3.1	6.1	3.4.2	Biegung mit oder ohne Längskraft und Längskraft allein
10.3	4.3.2	6.2	3.4.4	Querkraft
10.3.2 (2)	4.3.2.2 (11)*	6.2.2 (6)	3.4.4.2 (12)	Querkraft – auflagernahe Einzellasten
10.3.3 (1)	4.3.2.3 (1)*P	6.2.2 (1)	3.4.4.4 (1)	Querkraft – Querkrafttragfähigkeit ohne Bewehrung
10.3.4 (2)	4.3.2.4.2 (2)*	6.2.3 (1)	3.4.4.2 (3)	Querkraft – innerer Hebelarm
10.3.4 (3)	4.3.2.4.4 (1)*P	6.2.3 (2)	3.4.4.2 (7)	Querkraft – Grenzen für die Druckstrebenneigung
10.3.4 (6)	4.3.2.4.4 (2)*P	6.2.3 (3), (4)	3.4.4.2 (9)	Querkraft – Querkrafttragfähigkeit mit Bewehrung
10.3.5	4.3.2.5	6.2.4	3.4.4.3	Anschluss der Gurte an den Balkensteg
10.3.6	4.3.2.6	6.2.5	3.4.4.5	Schubkraftübertragung in Fugen
10.3.7	-	12.6.3 (2)	-	Schubbemessung für unbew. Beton
10.4	4.3.3	6.3	3.4.6	Torsion
10.6.2 (2) a)	4.3.8.2 (2)*P a)	6.5.2 (1)	11.2 (3) a)	Bemessung von Druckstreben – Hauptdruckspannungsnachweis
10.8	4.3.7	6.8	-	Nachweis gegen Ermüdung
10.8.3	4.3.7.8	6.8.5, 6.8.7 (1)	-	Nachweis gg. Erm. – im GZT (Stufe 2)

DIN 1045-1 (7.01, 8.08)	DIN-Fb 102 (3.09)	DIN EN 1992-1-1 (EC2, 10.05)	ÖNORM B 4700 (6.01)	Thema
10.8.4	4.3.7.4, 4.3.7.5	6.8.6, 6.8.7 (2)	-	Nachweis gegen Ermüdung – Nachweis im GZG (Stufe 1)
10.8.4 (5), (6)	4.3.7.4 (102)P, (103)P	6.8.7 (3), (4)	-	Nachweis gegen Ermüdung – Nachweis für Querkraft im GZG (Stufe 1)
11.1	4.4.1	7.2	-	Begrenzung der Spannungen
11.1.2	4.4.1.2	7.2 (2), (3)	-	Begrenzung der Betondruckspannungen
11.1.3	4.4.1.3	7.2 (5)	-	Begrenzung der Betonstahlspannungen
11.2	4.4.2	7.3	4.2	Begrenzung der Rissbreiten
11.2.1, Tab. 18	4.4.0.3, Tab. 4.118	7.3.1 (5), Tab. 7.1N	4.2.1 (2)	Anforderungen an die Begrenzung der Rissbreite
Tab. 20	Tab. 4.120	Tab. 7.2N	Tab. 8a,b Tab. 9a,b	Grenzdurchmesser zur Begrenzung der Rissbreite
11.2.2	4.4.2.2	7.3.2	4.2.2	Mindestbewehrung zur Begrenzung der Rissbreite
11.2.2 (8)	4.4.2.2 (9)	-	-	Mindestbewehrung bei dickeren Bauteilen unter zentrischem Zwang
11.2.3	4.4.2.3	7.3.3	4.2.3	Begrenzung der Rissbreite ohne direkte Berechnung
11.2.4	4.4.2.4	7.3.4	-	Berechnung der Rissbreite
11.3	4.4.3	7.4	4.3	Verformungsnachweis
11.3.2	-	7.4.2	4.3.2	Nachweis der Biegeschlankheit
12	5.2.1	8	5	Allgemeine Bewehrungsregeln
12.5	5.2.2.2	8.4.2	5.4.2	Verbundspannung
12.6.2	5.2.2.3, 5.2.3.4	8.4.3, 8.4.4 (2)	5.5.2, 5.5.3	Verankerungslänge
13	5.4	9	-	Konstruktionsregeln
13.1.1 (1)	5.4.2.1.1 (101), 4.3.1.3 (109)P	9.2.1.1 (1)	3.4.9.4 (1)	Mindestbewehrung für Biegeglieder (duktils Bauteilverhalten)
13.2.1 (1)	-	9.2.1.2 (1)	-	Mindeststützmomente am Endauflager
13.2.1 (2)	5.4.2.1.1 (3)	-	-	Auslagerung der Längsbewehrung bei Plattenbalken und Hohlkästen
13.2.2 (3)	5.4.2.1.3 (3)*	9.2.1.3 (2)	3.4.4.2 (16)	Versatzmaß
13.2.3 (5)	5.4.2.2 (3)*P	9.2.2 (5)	3.4.9.4 (2)	Mindestquerkraftbewehrung für Biegeglieder
13.3.3 (2)	5.4.3.3 (2)*P	6.2.1 (4)	3.4.4.4 (1)	Mindestquerkraftbewehrung für Platten bei $V_{Ed} \leq V_{Rd,ct}$
13.2.3 (5)	5.4.2.2 (4)*P	9.3.2 (2)	3.4.9.5 (2)	Mindestquerkraftbewehrung für Platten
13.2.3 (9)	5.4.2.2 (7)*P	-	-	Querkraftdeckung
13.3.2 (2), (3)	5.4.3.2.1 (2)*P, (3)*P	9.3.1.1 (2)	3.4.9.5 (1)	Querbewehrung von Platten
13.5.2 (1)	5.4.1.2.1 (1)*P	9.5.2 (2)	3.4.9.2	Mindestbewehrung für stabförmige Druckglieder (Stützen)

DIN 1045-1 (7.01, 8.08)	DIN-Fb 102 (3.09)	DIN EN 1992-1-1 (EC2, 10.05)	ÖNORM B 4700 (6.01)	Thema
13.5.3	5.4.1.2.2	9.5.3	9.2.3	Querbewehrung für stabförmige Druckglieder (Stützen)
13.7.1 (3)	5.4.7.2 (1)*P	9.6.2 (1)	3.4.9.3	Mindestbewehrung für flächenhafte Druckglieder (Wände)
13.7.1 (9)	5.4.7.2 (4)*P	9.6.4	9.3.4	Mindestbügelbewehrung für flächenhafte Druckglieder (Wände)
Tab. 31	Tab. 5.8	9.3.2 (3)	3.4.4.2 (11)	Querkraftausnutzung

Nationaler Anhang zu EN 1992-1-1 und EN 1992-1-2

Die Eurocode-Normen gelten nur in Verbindung mit ihren 'nationalen Anhängen' in dem jeweiligen Land, in dem das Bauwerk erstellt werden soll.

Für ausgewählte Parameter können abweichend von den Eurocode-Empfehlungen (im Eurocode-Dokument mit 'ANMERKUNG' gekennzeichnet) landeseigene Werte bzw. Vorgehensweisen angegeben werden.

In **pcae**-Programmen können die veränderbaren Parameter in einem separaten Eigenschaftsblatt angesehen und ggf. modifiziert werden. Die Liste der Parameter wird im Anhang des Statikdokuments ausgegeben.

Anmerkungen zum Nationalen Anhang für den Eurocode 2

Die nationalen Anwendungsdokumente (NAD) zu den aktuellen EC 2 (Bemessung und Brandfall) sind derzeit nur als Entwurf veröffentlicht. In $\pi\chi\alpha\epsilon$ -Programmen können jedoch diese Festlegungen bereits berücksichtigt werden.

Die national festzulegenden Parameter (NDP) gliedern sich derzeit in zwei Abschnitte (Register):



- Teilsicherheitsfaktoren und Kombinationsbeiw. der Einwirkungen (EN 1990, Eurocode 0)
- Nachweisparameter für die Stahlbetonbemessung (EN 1992-1-1 und EN 1992-1-2, Eurocode 2)

Die Belegung dieser Parameter kann folgendermaßen beeinflusst werden:



In den Eurocodes sind für alle NDPs Empfehlungen vorgegeben. Diese sind in den **pcae**-Programmen hinterlegt und können bei Anwahl der 'EC-Standardparameter' in das Programm übernommen werden.

Diese Parameterliste ist nicht modifizierbar oder löschtbar, kann aber kopiert werden und ist dann offen für eine freie Wertbelegung.



Der neu generierten oder kopierten Parameterliste können ein Name und eine Landesfahne zugeordnet werden.

Die NDPs unterscheiden sich in ihrer Bedeutung, es gibt veränderbare Zahlenwerte und Funktionen mit einer Variablen x.

6.2.2		Querkraftbewehrung, Bauteile ohne erforderliche Querkraftbewehrung Beiwerte zur Ermittlung des Querkraftwiderstandes
(1)	$C_{Rd,c} \quad 0.15 / \gamma_c$	
	$v_{min} = \text{Funkt. von } x$	$v_{min} = x \cdot k^{\frac{2}{3}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}}$
	mit $x = 0.0525 / \gamma_c$	
	$k_1 \quad 0.12$	
(6)		Festigkeitsabminderungsbeiwert für Querkraft
	$v \quad 0.675$	
	x (Funktion wird ignoriert)	$v = x \cdot (1 - \frac{f_{ck}}{250})$

In einigen Fällen ist der NDP über eine Gleichung zu beschreiben (s.o.). Hier kann entweder die Variable x als Teil der Gleichung oder der Zahlenwert des NDPs selbst vorgegeben werden.

Zur Erläuterung des NDPs sind die Kapitelnr. im Eurocode und eine Kurzbeschreibung ggf. mit Formel angegeben.

Diese Parameterliste kann kopiert, gelöscht und in einer Datenbasis gespeichert werden, um in den anderen **pcae**-Programmen zur Verfügung zu stehen.

Der deutsche nationale Anhang zum EC 2 unterscheidet sich nicht nur in einigen Parametern vom EC-Standard, sondern hat auch in einigen Punkten weiterführende Bestimmungen und andere Formeln zur Berechnung der NDPs.

9.2.1.1	Mindestbewehrung für Balken [cm ²]
(1) <input type="radio"/> $A_{s,min}$ (Funktion wird ignoriert)	$A_{s,min} = \chi \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} b_t d$
<input checked="" type="radio"/> $A_{s,min}$ s. NA-DE	$\geq 0.0013 b_t d$

An diesen Stellen wird im Eigenschaftsblatt lediglich auf die entsprechende Stelle im NA verwiesen (s.o).

Diese Parameterliste kann weder kopiert und modifiziert noch gelöscht werden.

Normen

- DIN 1055-100 Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 100: Grundlagen der Tragwerksplanung, Sicherheitskonzept und Bemessungsregeln, Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe März 2001
- DIN 1045 Beton und Stahlbeton: Bemessung und Ausführung, Deutsches Institut für Normung e.V., Ausg. Juli 1988
- DIN 1045-1 Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton, Teil 1: Bemessung und Konstruktion, Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgaben Juli 2001 und August 2008
- DIN-Fachbericht 102: Betonbrücken, Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe März 2009
- ÖNORM B 4700 Stahlbetontragwerke: EUROCODE-nahe Berechnung, Bemessung und konstruktive Durchbildung. Österreichisches Normungsinstitut, Ausgabe: 2001-06-01
- DIN 4102-4: Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen - Teil 4: Zusammenstellung und Anwendung klassifizierter Baustoffe, Bauteile und Sonderbauteile, Ausg. März 1994
- DIN 4102-4/A1: Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen - Teil 4: Zusammenstellung und Anwendung klassifizierter Baustoffe, Bauteile und Sonderbauteile, Änderung A1, Ausgabe November 2004
- DIN 4102-22: Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen - Teil 22: Anwendungsnorm zu 4102-4 auf der Bemessungsbasis von Teilsicherheitsbeiwerten, Ausgabe Nov. 2004
- DIN EN 1990, Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung; Deutsche Fassung EN 1990:2002 + A1:2005 + A1:2005/AC:2010, Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Dezember 2010
- DIN EN 1990/NA, Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung; Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Dezember 2010
- DIN EN 1991-1-1, Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen auf Tragwerke - Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau; Deutsche Fassung EN 1991-1-1:2002 + AC:2009, Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Dezember 2010
- DIN EN 1991-1-1/NA, Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen auf Tragwerke - Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau; Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Dezember 2010
- DIN EN 1991-1-2, Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-2: Brandeinwirkungen auf Tragwerke; Deutsche Fassung EN 1991-1-2:2002 + AC:2009, Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Dezember 2010
- DIN EN 1991-1-2/NA, Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-2: Brandeinwirkungen auf Tragwerke; Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Dezember 2010
- DIN EN 1991-1-3, Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-3: Allgemeine Einwirkungen - Schneelasten; Deutsche Fassung EN 1991-1-3:2003 + AC:2009, Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Dezember 2010
- DIN EN 1991-1-3/NA, Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-3: Allgemeine Einwirkungen - Schneelasten; Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Dezember 2010
- DIN EN 1991-1-4, Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen - Windlasten; Deutsche Fassung EN 1991-1-4:2005 + A1:2010 + AC:2010, Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Dezember 2010
- DIN EN 1991-1-4/NA, Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen - Windlasten; Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Dezember 2010
- DIN EN 1991-1-5, Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-5: Allgemeine Einwirkungen - Temperatureinwirkungen; Deutsche Fassung EN 1991-1-5:2003 + AC:2009, Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Dezember 2010
- DIN EN 1991-1-5/NA, Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-5: Allgemeine Einwirkungen - Temperatureinwirkungen; Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Dezember 2010
- DIN EN 1992-1-1, Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetonbauteilen - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den

Hochbau; Deutsche Fassung EN 1992-1-1:2004 + AC:2010, Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Januar 2011

- DIN EN 1992-1-1/NA, Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau; Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Dezember 2010
- DIN EN 1992-1-2, Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken - Teil 1-2: Allgemeine Regeln - Tragwerksbemessung für den Brandfall; Deutsche Fassung EN 1992-1-2:2004 + AC:2008, Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Dezember 2010
- DIN EN 1992-1-2/NA, Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken - Teil 1-2: Allgemeine Regeln - Tragwerksbemessung für den Brandfall; Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Dezember 2010
- DIN V ENV 1992-1-2, Eurocode 2 (Vornorm): Planung von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken - Teil 1-2: Allgemeine Regeln - Tragwerksbemessung für den Brandfall; Deutsche Fassung ENV 1992-1-2:1995, Ausgabe Mai 1997
- Nationales Anwendungsdokument (NAD) Richtlinie zur Anwendung von DIN V ENV 1992-1-2: 1997-05 Eurocode 2: Planung von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken - Teil 1-2: Allgemeine Regeln - Tragwerksbemessung für den Brandfall. DIN-Fachbericht 92, 2000
- Normenausschuss Bauwesen (NABau) -+ Stand der Auslegungen, Deutsches Institut für Normung e.V., www.nabau.din.de

Schnittgrößentransformation bei Flächenträgern

- T. Baumann: Zur Frage der Netzbewehrung von Flächenträgern. Der Bauingenieur 47 (1972), Heft 10, Springer Verlag, 1972
- DIN V ENV 1992-1-1, Eurocode 2 (Vornorm): Planung von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Grundlagen und Anwendungsregeln für den Hochbau, Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Juni 1992
- B. Thürlimann: Anwendungen der Plastizitätstheorie auf Stahlbeton. Vorlesung zum Fortbildungskurs für Bauingenieure von 13.-15. April 1983. Institut für Baustatik und Konstruktion, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
- K. Holschemacher: Stahlbetonplatten – Neue Aspekte zur Bemessung, Konstruktion und Bauausführung, Bauwerk-Verlag GmbH, 2005

Biegebemessung

- Erläuterungen zu DIN 1045 Beton und Stahlbeton, Ausgabe 07.88, Heft 400, Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Beuth Verlag GmbH, 1989
- Erläuterungen zu DIN 1045-1, Heft 525, Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Beuth Verlag GmbH, 2003
- Berichtigung 1 zum DAfStb-Heft 525, Mai 2005
- Erläuterungen zu DIN 1045-1, Heft 525, Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, 2. überarbeitete Auflage, Mai 2010
- F. Fingerloos: DIN 1045 Ausgabe 2008 Tragwerke aus Beton und Stahlbeton, Teil 1: Bemessung und Konstruktion, Kommentierte Kurzfassung, 3. Auflage, Fraunhofer IRB und Beuth Verlag, 2008
- Erläuterungen zu DIN EN 1992-1-1 und DIN EN 1992-1-1/NA (Eurocode 2), Heft 600, Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, 1. Auflage, 2012
- F. Fingerloos, J. Hegger, K. Zilch: Eurocode 2 für Deutschland, Kommentierte Fassung, Beuth Verlag und Verlag Wilhelm Ernst & Sohn, 2012
- O. Wommelsdorff: Stahlbetonbau – Bemessung und Konstruktion, Teil 1, 10. Auflage, Werner Verlag, 2011
- O. Wommelsdorff: Stahlbetonbau – Bemessung und Konstruktion, Teil 2, 9. Auflage, Werner Verlag, 2012

Schubbemessung

- E. Grasser: Bemessung für Biegung mit Längskraft, Schub und Torsion, Betonkalender Teil I, Verlag Ernst und Sohn, 1985
- Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein e.V.: Beispiele zur Bemessung nach DIN 1045-1, Band 1: Hochbau, 2. Auflage, Ernst und Sohn Verlag, 2005
- D. Bertram: Erläuterungen zu DIN 4227 Spannbeton (Teil I, Abschnitt 12), Heft 320,

Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Beuth Verlag GmbH, 1989

- H. Friemann: Schub und Torsion in geraden Stäben, Werner-Verlag GmbH, Düsseldorf, 1983
- K. Zilch und A. Rogge: Bemessung von Stahlbeton- und Spannbetonbauteilen im Brücken- und Hochbau, Betonkalender 2004
- T. Ruge in: K.-W. Bieger: Stahlbeton- und Spannbetontragwerke nach Eurocode 2, Springer-Verlag, 1993
- G. Valentin und G. Kidery: Stahlbetonbau, Manz Verlag Schulbuch, Wien 2001
- P. Mark: Ein Bemessungsansatz für zweiachsig durch Querkräfte beanspruchte Stahlbetonbalken mit Rechteckquerschnitt, Heft 5, Beton- und Stahlbetonbau 100 (2005)

Mitwirkende Plattenbreite

- E. Grasser, G. Thielen: Hilfsmittel zur Berechnung der Schnittgrößen und Formänderungen von Stahlbetontragwerken. Heft 240, DAfStb, Beuth Verlag, Berlin, 1991

Rissnachweis

Verfahren nach Norm

- G. König & N. Viet Tue: Grundlagen und Bemessungshilfen für die Rissbreitenbeschränkung im Stahlbeton und Spannbeton, Heft 466, Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Beuth Verlag GmbH, 1996

Verfahren nach Schießl

- P. Schießl: Grundlagen der Neuregelung zur Beschränkung der Rissbreite, Heft 400, Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Beuth Verlag GmbH, 1989
- J. Bergfelder, J. Dittfach: Beschränkung der Rissbreite bei Ortbetonpfählen, Beton- und Stahlbetonbau 87, 1992

Verfahren nach Noakowski

- P. Noakowski: Verbundorientierte, kontinuierliche Theorie zur Ermittlung der Rissbreite, Beton- und Stahlbetonbau 80, 1985
- K. Frank, M. Litzenburger, G. Peters: Rissnachweis nach Noakowski, aufbereitet für den Taschenrechner, Heft 5, Bautechnik 65, 1988

Schwingbreiten-/Ermüdungsnachweis

- K. Zilch und A. Rogge: Bemessung von Stahlbeton und Spannbetonbauteilen im Brücken- und Hochbau, Betonkalender 2004, Verlag Ernst & Sohn, 2004
- K. Zilch, G. Zehetmaier und C. Gläser: Ermüdungsnachweis bei Massivbrücken, Betonkalender 2004, Verlag Ernst & Sohn, 2004
- J. Hegger, W. Roeser, R. Beutel, N. Kerkeni: Konstruktion und Bemessung von Industrie- und Gewerbebauten nach DIN 1045-1, Betonkalender 2006, Verlag Ernst & Sohn, 2006
- M. Heunisch, C.-A. Graubner, C. Hock: Berechnung und Bemessung von Kranbahnen, Betonkalender 2006, Verlag Ernst & Sohn, 2006

Vereinfachter Brandschutznachweis für Druckglieder

- H.M. Bock, E. Klement: Brandschutz-Praxis für Architekten und Ingenieure, 2. Auflage, Bauwerk-Verlag GmbH, 2006
- N.A. Fouad, A. Schwedler: Brandschutz-Bemessung auf einen Blick nach DIN 4102, Bauwerk-Verlag GmbH, 2006
- Musterliste der Technischen Baubestimmungen, Kap.3 Techn. Regeln zum Brandschutz, Betonkalender 2007, Teil 2
- F. Fingerloos, E. Richter: Zur Heißbemessung von Stahlbetonstützen, Der Prüferingenieur, April 2007

Brandbemessung nach DIN EN 1992-1-2 (EC 2 für Brandbeanspruchung)

- Normenhandbuch Eurocodes – Spezialband Tragwerksbemessung für den Brandfall. Vom DIN konsolidierte Fassung, Beuth Verlag, 2012
- Cyllok, Michael & Achenbach, Marcus: Anwendung der Zonenmethode für brandbeanspruchte Stahlbetonstützen, Beton- und Stahlbetonbau 104, 2009
- M. Cyllok & M. Achenbach: Bemessung von Stahlbetonstützen im Brandfall: Absicherung der nicht-linearen Zonenmethode durch Laborversuche, Beton- und Stahlbetonbau 106, Heft 1, 2011

- K. Zilch, A. Müller, C. Reitmayer: Erweiterte Zonenmethode zur brandschutztechnischen Bemessung von Stahlbetonstützen, Bauingenieur Band 85, 2010
- Hinkelmann, Reinhard: Efficient Numerical Methods and Information-Processing Techniques for Modelling Hydro- and Environmental Systems. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2005
- Hildebrand, Joachim: Berechnung nichtlinearer Diffusionsvorgänge in Strukturen mit der Randelementmethode. VDI Verlag GmbH Düsseldorf, 1998
- Köhne, Heinrich: Digitale und analoge Lösungsmethoden der Wärmeleitungsgleichung. Westdeutscher Verlag Köln und Opladen, 1970
- Pennekamp, Harald: Ein analytisches Näherungsverfahren zur Berechnung mehrdimensionaler, instationärer Temperaturfelder in geometrisch einfachen Strukturen. Dissertation, Fakultät für Bergbau und Hüttenwesen der TU Aachen, 1973

Druckzonendicke / Nachweis der Dichtigkeit

- DAfStb-Richtlinie: Wasserundurchlässige Bauwerke, Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Ausg. November 2003
- DAfStb-Richtlinie: Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen, Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Ausgabe Oktober 2004
- Erläuterungen zur DAfStb-Richtlinie wasserundurchlässige Bauwerke, Heft 555, Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, 2006

Verschiedenes

- Merkblätter des Deutschen Beton- und Bautechnik-Vereins e.V.: Beton und Betonstahl, Fassung Januar 2008
- U. Quast: Nichtlineare Statik im Stahlbetonbau. Bauwerk Verlag, 2007
- G. Allgöwer: Bemessung von Stahlbetondruckgliedern unter zweiachsiger Biegung mit Interaktionsdiagrammen nach Theorie II Ordnung. Dissertation, Fakultät für Bauingenieurwesen, Architektur und Stadtplanung der TU Cottbus, 2001
- S. Köseoglu: Treppen. Betonkalender Teil II, Verlag Ernst und Sohn, 1980

18 Index

Berechnungsverfahren vollplastisches	49	Mindestbewehrung	16, 40
Betonfestigkeitsklassen	9	Mindestquerkraftbewehrung	33
Betonstahl	10	Noakowski	47
Bewehrung statisch erforderliche	41	Normalkraftbemessung	16
Bewehrungsanordnung	16	Plattenbreite mitwirkende	56
Biegebemessung	16	Querkraftbeanspruchung zweiachsige	32
Brandschutz	18	Querschnitt statisch erforderlicher	16
ComBAR GFK	12	Querschnitt unbewehrter	17
Dichtigkeitsnachweis	24	Querschnittsausnutzung	18
DIN 41022-22	18	Rissnachweis	39
Druckglieder umschnürte	59	Robustheitsbewehrung	16
Druckzonendicke	24	Rotation plastische	15
Elementdecke	12	Schießl	47
Ermüdungsnachweis	50	Schubbemessung	26
Fuge Schubkraftübertragung	34	Schwinden	15
Gitterträger	12	Schwingnachweis	50
Grundbewehrung	16	Sicherheitskonzept	12
Gurtanschluss	33	Spannungsdehnungslinien	12
Hauptdruckspannungsnachweis	38	Spannungsnachweis	49
Hydratationswärme	42	Torsionsbemessung	37
Kriechen	15	Tragfähigkeit bezogene	17
Kunststoff glasfaserverstärkter	12	Verformungsverhalten plastisches	49
Leichtbeton	9	Wände	48
Material, benutzerdefiniertes	11	Wendelbewehrung	59
Material, spezielles	12		