

# Bewehren von Stahlbetontragwerken nach DIN EN 1992-1-1:2011-01 in Verbindung mit DIN EN 1992-1-1/NA:2011-01

## Nachweise der Tragfähigkeit - Querschnittsbemessung -

Arbeitsblatt 4  
Überarbeitete Ausgabe 2012-06

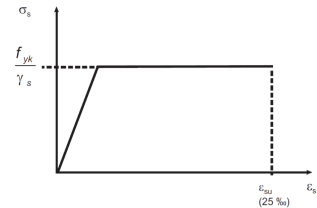
Gesamtherstellung und Herausgabe: Institut für Stahlbetonbewehrung e.V.  
Überarbeitung (DIN EN 1996): Dr.-Ing. N. Brauer, Dipl.-Ing. J. Ehmke

### 1 Bemessung für Biegung und Längskraft, Spannungs-Dehnungs-Linien nach DIN 1992-1-1, 3.2.7

Für die Biegebemessung werden in der Norm zwei Möglichkeiten angeboten

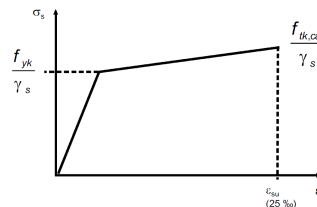
- Annahme eines horizontalen Verlaufs der Spannungs-Dehnungslinie nach Überschreiten der Streckgrenze des Betonstahls ( $f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$ ) ohne Prüfung der Dehnungsgrenze

⇒ Tabellen 3.1 ff



- Berücksichtigung der Verfestigung des Betonstahls nach Überschreitung der Streckgrenze ( $f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$ ) bis zu einer rechnerischen Zugfestigkeit von  $f_{tk,cal} = 525 \text{ N/mm}^2$ , die bei  $\epsilon_{su} = 0,025 = 25 \text{ ‰}$  erreicht wird. Für kleinere Stahldehnung  $\epsilon_s < \epsilon_{su}$  ist der Bemessungswert der Stahlspannung  $\sigma_{sd}$  mit DIN EN 1992-1-1, Bild 3.8 zu ermitteln.

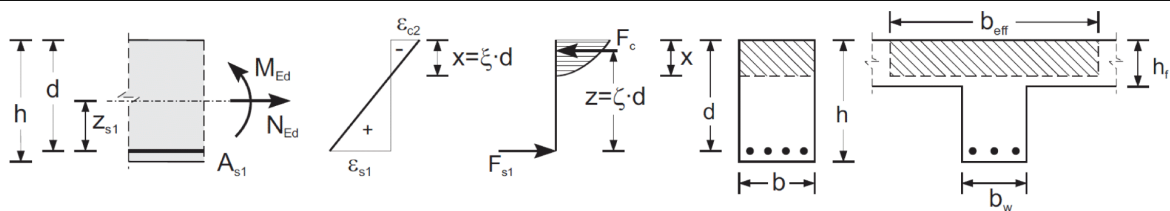
⇒ Tabellen 3.2 ff



### 2 Grundsätzliches

#### 2.1 $\omega$ -Verfahren ohne Druckbewehrung ( $\sigma_{sd} \leq f_{yd}$ )

Die optimale Bewehrungsmenge ergibt sich bei Rechteckquerschnitten in der Regel, wenn nur eine Biegezugbewehrung  $A_{s1}$  angeordnet wird.



Auf die Lage der Zugbewehrung bezogenes Moment  $M_{Eds}$ :

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

mit:  $M_{Ed}$  Bemessungsmoment  
 $N_{Ed}$  Bemessungswert der Normalkraft  
 $z_{s1}$  Abstand Schwerelinie zu Biegezugbewehrung  $A_{s1}$

$F_{s1}$	=	$f_{yd} \cdot A_{s1}$ ; Zuggurtkraft (Biegezugbewehrung)
$F_c$	=	$\alpha_R \cdot f_{cd} \cdot b \cdot \xi \cdot d$ ; Druckgurtkraft (Betondruckzone)
mit $f_{yd}$	=	$f_{yk} / \gamma_s$ ; Bemessungswert der Betonstahlstreckgrenze
$\gamma_s$	=	1,15; Materialteilsicherheitsbeiwert für Betonstahl
$f_{cd}$	=	$\alpha \cdot f_{cd} / \gamma_c$ ; Bemessungswert der Betondruckfestigkeit
$\alpha$	=	Abminderungsfaktor für Langzeiteinwirkung 0,85 für Normalbeton; für Leichtbeton 0,75 (bzw. 0.80 bei Verwendung des bilinearen Spannungs-Dehnungs-Diagramms)
$\gamma_c$	=	Materialteilsicherheitsbeiwert für Beton = 1,5 für Beton bis C 50/60
$\alpha_R$	=	$ \sigma_{cm}  / f_{cd}$ ; Völligkeitsbeiwert
$\xi$	=	$x / d$ ; bezogene Druckzonenhöhe
$b, b_{eff}$	=	Breite bzw. mitwirkende Breite
$d$	=	statische Höhe

INSTITUT FÜR STAHLBETONBEWEHRUNG e.V.

## 2.2 Anordnung einer Biegedruckbewehrung $A_{s2}$

Eine Biegedruckbewehrung  $A_{s2}$  ist zur Sicherstellung ausreichender Verformungsfähigkeit für folgende Grenzwerte der bezogenen Druckzonenhöhe  $\xi_{lim} = (x/d)_{lim}$  erforderlich:

$$\xi_{lim} = (x/d)_{lim} = 0,617 \text{ für Beton bis C 50/60}$$

Dehnung der Zugbewehrung erreicht  $\varepsilon_{yd} = f_{yd} / E_s$

$$\xi_{lim} = (x/d)_{lim} = 0,45 \text{ für Beton bis C 50/60}$$

$$\xi_{lim} = (x/d)_{lim} = 0,35 \text{ für Beton ab C 55/67}$$

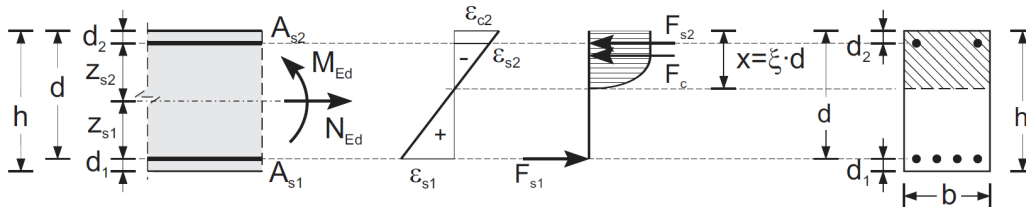
Bei linear-elastischem Verfahren der Schnittgrößenermittlung ohne geeignete Umschnürung der Biegedruckzone. Eine geeignete Umschnürung kann angenommen werden bei Einhaltung der Regeln der Querbewehrung in DIN EN 1992-1-1, 9.2.1.2 (3).

$$\xi_{lim} = (x/d)_{lim} = 0,25 \text{ für Beton bis C 50/60}$$

$$\xi_{lim} = (x/d)_{lim} = 0,15 \text{ für Beton ab C 55/67}$$

Bei Berechnung zweiachsig gespannter Platten nach der Plastizitätstheorie ohne Nachweis der Rotationsfähigkeit.

## 2.3 $\omega$ - Verfahren mit Druckbewehrung ( $\sigma_{sd} \leq f_{yd}$ )



Auf die Lage der Zugbewehrung bezogenes Moment  $M_{Eds}$ :

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

mit  $M_{Ed}$  Bemessungsmoment  
 $N_{Ed}$  Bemessungswert der Normalkraft  
 $z_{s1}$  Abstand Schwerelinie zu Biegezugbewehrung  $A_{s1}$

$F_{s1} = f_{yd} \cdot A_{s1}$ ; Zuggurkraft (Biegezugbewehrung)  
 $F_{s2} = \sigma_{s2d} \cdot A_{s2}$ ; Druckgurkraft (Biegedruckbewehrung)  
 $F_c = \alpha_R \cdot f_{cd} \cdot b \cdot \xi \cdot d$ ; Druckgurkraft (Betondruckzone)  
 mit  $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s$ ; Bemessungswert der Betonstahlstreckgrenze  
 $\gamma_s = 1,15$ ; Materialteilsicherheitsbeiwert für Betonstahl  
 $f_{cd} = \alpha \cdot f_{ck} / \gamma_c$ ; Bemessungswert der Betondruckfestigkeit  
 $\alpha$  Abminderungsfaktor für Langzeiteinwirkung  
 = 0,85 für Normalbeton;  
 = 0,75 für Leichtbeton (Parabel-Rechteck-Diagramm o. Spannungsblock)  
 = 0,80 für Leichtbeton (bilineares Spannungs-Dehnungs-Diagramm)  
 $\gamma_c$  Materialteilsicherheitsbeiwert für Beton = 1,5 für Beton bis C 50/60  
 $\alpha_R = |\sigma_{cm}| / f_{cd}$ ; Völligkeitsbeiwert; = 0,81 für  $\varepsilon_{cu} = -3,5 \text{ ‰}$  und Beton bis C 50/60  
 $\xi = x/d$ ; bezogene Druckzonenhöhe  
 $b$  Breite  
 $d$  statische Höhe

bezogenes Moment  $\mu_{Eds}$ :

$$\mu_{Eds} = \frac{M_{Eds}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{M_{Ed} - N_{Ed} \cdot z_{s1}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}}$$

erf. Biegezugbewehrung  $A_{s1}$ :

$$A_{s1} = \omega_1 \cdot \frac{b \cdot d}{f_{yd} / f_{cd}} + \frac{N_{Ed}}{f_{yd}}$$

erf. Biegedruckbewehrung  $A_{s2}$ :

$$A_{s2} = \omega_2 \cdot \frac{b \cdot d}{f_{yd} / f_{cd}}$$

## 2.4 Ermittlung der maßgebenden Breiten

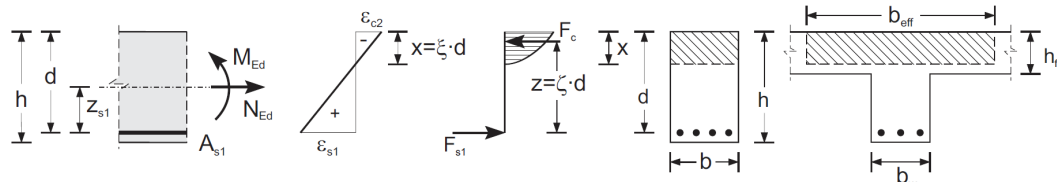
Bemessungsquerschnitt	Nulllinie	Maßg. Breite		Bemerkung
	-	$b$	bezogenes Moment $\mu_{Eds}$ : $\mu_{Eds} = \frac{M_{Eds}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{M_{Ed} - N_{Ed} \cdot z_{s1}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}}$	
	$x \leq h_f$	$b = b_{eff}$	mech. Bewehrungsgrad: $\omega_1 = \frac{A_s^*}{b \cdot d} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}}; A_s^* = A_{s1} - \frac{N_{Ed}}{f_{yd}}$	Ermittlung von $b_{eff}$ nach $\Rightarrow$ Arbeitsblatt 3 7.2.1
	$x > h_f$	$b = b_f$	erf. Bewehrungsquerschnitt: $A_{s1} = \omega_1 \cdot \frac{b \cdot d}{f_{yd} / f_{cd}} + \frac{N_{Ed}}{f_{yd}}$	Berechnung von $b_f$ siehe DAfStb - Heft 220
	$x > h_f$	$b = b_f$	erf. Bewehrungsquerschnitt: $A_{s1} = \frac{1}{f_{yd}} \cdot \left( \frac{M_{Eds}}{d - h_f / 2} + N_{Ed} \right)$	Nachweis der Druckspannung erforderlich

2.5 Rechengrößen für Betonstahl BSt 500 mit $f_{yk}=500 \text{ N/mm}^2$ und für Beton bis C 50/60									
Beton	C 12/15	C 16/20	C 20/25	C 25/30	C 30/37	C 35/45	C 40/50	C 45/55	C 50/60
$f_{cd} [\text{N/mm}^2]$	6,8	9,1	11,3	14,2	17,0	19,8	22,7	25,5	28,3
$f_{yd}/f_{cd}$	63,9	48,0	38,4	30,7	25,6	21,9	19,2	17,1	15,3

### 3 Bemessungstabellen für die Verfahren nach 1 (Bemessung für Biegung und Längskraft nach EC 2-1-1, 6.1)

#### 3.1 Horizontaler Verlauf der Spannungs-Dehnungslinie des Betonstahls (ohne Verfestigung)

##### 3.1.1 $\omega$ - Tabellen, ohne Druckbewehrung, für Beton bis C 50/60 ( $\sigma_{sd} \leq f_{yd}$ )



$N_{Ed}$  ist als Druckkraft negativ!

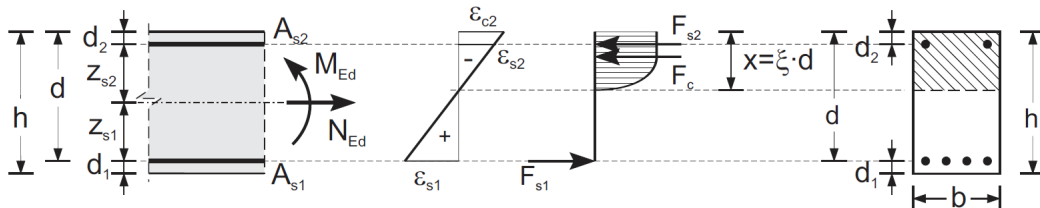
$a^*$ : Abstand des Schwerpunktes der Betondruckspannungen vom oberen Rand des Querschnittes

bezogenes Moment $\mu_{Eds}$ :	erf. Biegezugbewehrung $A_{s1}$ :	mech. Bewehrungsgrad $\omega_1$ :
$\mu_{Eds} = \frac{M_{Eds}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{M_{Ed} - N_{Ed} \cdot z_{s1}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}}$	$A_{s1} = \omega_1 \cdot \frac{b \cdot d}{f_{yd} / f_{cd}} + \frac{N_{Ed}}{f_{yd}}$	$\omega_1 = \frac{A_s^*}{b \cdot d} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}}; A_s^* = A_{s1} - \frac{N_{Ed}}{f_{yd}}$

$\mu_{Eds}$ [-]	$\omega_1$ [-]	$\xi = x/d$ [-]	$\zeta = z/d$ [-]	$\epsilon_{c2}$ [‰]	$\epsilon_{s1}$ [‰]	$\sigma_{sd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\alpha_R$ [-]	$k_a = a^*/x$ [-]
0,01	0,0101	0,030	0,990	-0,77	25	434,8	0,337	0,35
0,02	0,0203	0,044	0,985	-1,15	25	434,8	0,464	0,353
0,03	0,0306	0,055	0,980	-1,46	25	434,8	0,553	0,360
0,04	0,0410	0,066	0,976	-1,76	25	434,8	0,622	0,368
0,05	0,0515	0,076	0,971	-2,06	25	434,8	0,676	0,377
0,06	0,0621	0,086	0,967	-2,37	25	434,8	0,718	0,387
0,07	0,0728	0,097	0,962	-2,68	25	434,8	0,751	0,396
0,08	0,0836	0,107	0,956	-3,01	25	434,8	0,778	0,405
0,09	0,0946	0,118	0,951	-3,35	25	434,8	0,801	0,413
0,10	0,1057	0,131	0,946	-3,5	23,29	434,8	0,810	0,416
0,11	0,1170	0,145	0,940	-3,5	20,71	434,8	0,810	0,416
0,12	0,1285	0,159	0,934	-3,5	18,55	434,8	0,810	0,416
0,13	0,1401	0,173	0,928	-3,5	16,73	434,8	0,810	0,416
0,14	0,1518	0,188	0,922	-3,5	15,16	434,8	0,810	0,416
0,15	0,1638	0,202	0,916	-3,5	13,80	434,8	0,810	0,416
0,16	0,1759	0,217	0,910	-3,5	12,61	434,8	0,810	0,416
0,17	0,1882	0,232	0,903	-3,5	11,55	434,8	0,810	0,416
0,18	0,2007	0,248	0,897	-3,5	10,62	434,8	0,810	0,416
0,18	0,2024	0,250	0,896	-3,5	10,50	434,8	0,810	0,416
0,19	0,2134	0,264	0,890	-3,5	9,78	434,8	0,810	0,416
0,20	0,2263	0,280	0,884	-3,5	9,02	434,8	0,810	0,416
0,21	0,2395	0,296	0,877	-3,5	8,33	434,8	0,810	0,416
0,22	0,2529	0,312	0,870	-3,5	7,71	434,8	0,810	0,416
0,23	0,2665	0,329	0,863	-3,5	7,13	434,8	0,810	0,416
0,24	0,2804	0,346	0,856	-3,5	6,60	434,8	0,810	0,416
0,25	0,2946	0,364	0,849	-3,5	6,12	434,8	0,810	0,416
0,26	0,3091	0,382	0,841	-3,5	5,67	434,8	0,810	0,416
0,27	0,3239	0,400	0,834	-3,5	5,25	434,8	0,810	0,416
0,28	0,3391	0,419	0,826	-3,5	4,86	434,8	0,810	0,416
0,29	0,3546	0,438	0,818	-3,5	4,49	434,8	0,810	0,416
0,296	0,3643	0,450	0,813	-3,5	4,28	434,8	0,810	0,416
0,30	0,3706	0,458	0,810	-3,5	4,15	434,8	0,810	0,416
0,31	0,3869	0,478	0,801	-3,5	3,82	434,8	0,810	0,416
0,32	0,4038	0,499	0,793	-3,5	3,52	434,8	0,810	0,416
0,33	0,4211	0,520	0,784	-3,5	3,23	434,8	0,810	0,416
0,34	0,4391	0,542	0,774	-3,5	2,95	434,8	0,810	0,416
0,35	0,4576	0,565	0,765	-3,5	2,69	434,8	0,810	0,416
0,36	0,4768	0,589	0,755	-3,5	2,44	434,8	0,810	0,416
0,37	0,4968	0,614	0,745	-3,5	2,20	434,8	0,810	0,416
0,371	0,4994	0,617	0,743	-3,5	2,174	434,8	0,810	0,416

**3.1.2  $\omega$  - Tafeln, mit Druckbewehrung, für  $\xi_{lim}=(x/d)_{lim} = 0,617$ , für Beton bis C 50/60 ( $\sigma_{sd} \leq f_{yd}$ )**

$\mu_{Eds,lim}$ [-]	$\omega_1$ [-]	$\xi = x/d$ [-]	$\zeta = z/d$ [-]	$\epsilon_{c2}$ [‰]	$\epsilon_{s1,lim}$ [‰]	$\sigma_{sd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\alpha_R$ [-]	$k_a = a^*/x$ [-]
0,3712	0,4994	0,617	0,743	-3,50	2,174	434,8	0,810	0,416



$N_{Ed}$  ist als Druckkraft negativ!

$a^*$ : Abstand des Schwerpunktes der Betondruckspannungen vom oberen Rand des Querschnittes

bezogenes Moment  $\mu_{Eds}$ :

erf. Biegezugbewehrung  $A_{s1}$ :

erf. Biegedruckbewehrung  $A_{s2}$ :

$$\mu_{Eds} = \frac{M_{Eds}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{M_{Ed} - N_{Ed} \cdot z_{s1}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}}$$

$$A_{s1} = \omega_1 \cdot \frac{b \cdot d}{f_{yd} / f_{cd}} + \frac{N_{Ed}}{f_{yd}}$$

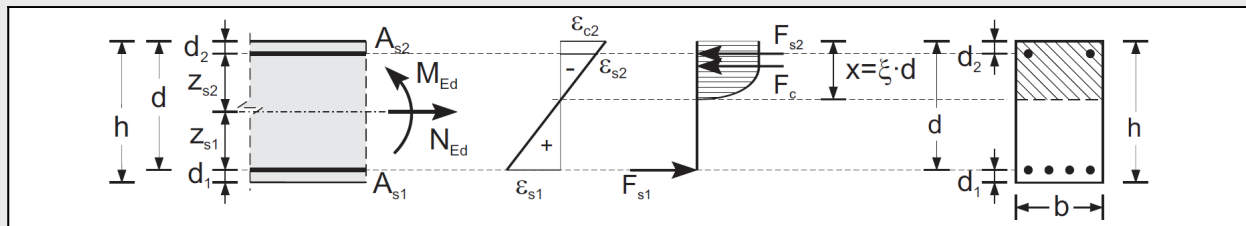
$$A_{s2} = \omega_2 \cdot \frac{b \cdot d}{f_{yd} / f_{cd}}$$

Beton	C 12/15	C 16/20	C 20/25	C 25/30	C 30/37	C 35/45	C 40/50	C 45/55	C 50/60
$f_{cd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	6,8	9,1	11,3	14,2	17,0	19,8	22,7	25,5	28,3
$f_{yd} / f_{cd}$	63,9	48	38,4	30,7	25,6	21,9	19,2	17,1	15,3

$\mu_{Eds}$ [-]	$d_2/d=0,05$		$d_2/d=0,10$		$d_2/d=0,15$		$d_2/d=0,20$	
	$\epsilon_{s2,lim} = -3,22\text{‰}$		$\epsilon_{s2,lim} = -2,93\text{‰}$		$\epsilon_{s2,lim} = -2,65\text{‰}$		$\epsilon_{s2,lim} = -2,37\text{‰}$	
	$\omega_1$ [-]	$\omega_2$ [-]	$\omega_1$ [-]	$\omega_2$ [-]	$\omega_1$ [-]	$\omega_2$ [-]	$\omega_1$ [-]	$\omega_2$ [-]
0,38	0,5086	0,0092	0,5091	0,0097	0,5097	0,0103	0,5103	0,0110
0,39	0,5191	0,0198	0,5202	0,0209	0,5214	0,0221	0,5228	0,0235
0,40	0,5296	0,0303	0,5313	0,0320	0,5332	0,0339	0,5353	0,0360
0,41	0,5402	0,0408	0,5424	0,0431	0,5450	0,0456	0,5478	0,0485
0,42	0,5507	0,0513	0,5535	0,0542	0,5567	0,0574	0,5603	0,0610
0,43	0,5612	0,0619	0,5647	0,0653	0,5685	0,0691	0,5728	0,0735
0,44	0,5717	0,0724	0,5758	0,0764	0,5803	0,0809	0,5853	0,0860
0,45	0,5823	0,0829	0,5869	0,0875	0,5920	0,0927	0,5978	0,0985
0,46	0,5928	0,0934	0,5980	0,0986	0,6038	0,1044	0,6103	0,1110
0,47	0,6033	0,1040	0,6091	0,1097	0,6156	0,1162	0,6228	0,1235
0,48	0,6139	0,1145	0,6202	0,1209	0,6273	0,1280	0,6353	0,1360
0,49	0,6244	0,1250	0,6313	0,1320	0,6391	0,1397	0,6478	0,1485
0,50	0,6349	0,1356	0,6424	0,1431	0,6509	0,1515	0,6603	0,1610
0,51	0,6454	0,1461	0,6535	0,1542	0,6626	0,1633	0,6728	0,1735
0,52	0,6560	0,1566	0,6647	0,1653	0,6744	0,1750	0,6853	0,1860
0,53	0,6665	0,1671	0,6758	0,1764	0,6861	0,1868	0,6978	0,1985
0,54	0,6770	0,1777	0,6869	0,1875	0,6979	0,1986	0,7103	0,2110
0,55	0,6875	0,1882	0,6980	0,1986	0,7097	0,2103	0,7228	0,2235

3.1.3  $\omega$  - Tafeln, mit Druckbewehrung, für  $\xi_{lim} = (x/d)_{lim} = 0,45$ , für Beton bis C 50/60 ( $\sigma_{sd} \leq f_{yd}$ )

$\mu_{Eds,lim}$ [-]	$\omega_1$ [-]	$\xi = x/d$ [-]	$\zeta = z/d$ [-]	$\varepsilon_{s2}$ [‰]	$\varepsilon_{s1,lim}$ [‰]	$\sigma_{sd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\alpha_R$ [-]	$k_a = a^*/x$ [-]
0,2961	0,3643	<b>0,450</b>	0,813	-3,50	<b>4,278</b>	434,8	0,810	0,416



$N_{Ed}$  ist als Druckkraft negativ

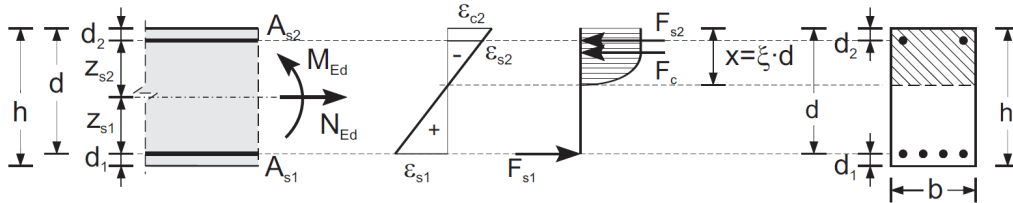
$a^*$ : Abstand des Schwerpunktes der Betondruckspannungen vom oberen Rand des Querschnittes

bezogenes Moment $\mu_{Eds}$ :		erf. Biegezugbewehrung $A_{s1}$ :				erf. Biegedruckbewehrung $A_{s2}$ :			
$\mu_{Eds} = \frac{M_{Eds}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{M_{Ed} - N_{Ed} \cdot z_{s1}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}}$		$A_{s1} = \omega_1 \cdot \frac{b \cdot d}{f_{yd} / f_{cd}} + \frac{N_{Ed}}{f_{yd}}$				$A_{s2} = \omega_2 \cdot \frac{b \cdot d}{f_{yd} / f_{cd}}$			
Beton	C 12/15	C 16/20	C 20/25	C 25/30	C 30/37	C 35/45	C 40/50	C 45/55	C 50/60
$f_{cd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	6,8	9,1	11,3	14,2	17,0	19,8	22,7	25,5	28,3
$f_{yd} / f_{cd}$	63,9	48,0	38,4	30,7	25,6	21,9	19,2	17,1	15,3

$\mu_{Eds}$ [-]	$d_2/d=0,05$		$d_2/d=0,10$		$d_2/d=0,15$		$d_2/d=0,20$	
	$\omega_1$ [-]	$\omega_2$ [-]	$\omega_1$ [-]	$\omega_2$ [-]	$\omega_1$ [-]	$\omega_2$ [-]	$\omega_1$ [-]	$\omega_2$ [-]
0,30	0,3684	0,0041	0,3686	0,0043	0,3689	0,0046	0,3692	0,0055
0,31	0,3789	0,0146	0,3797	0,0154	0,3806	0,0164	0,3817	0,0194
0,32	0,3894	0,0252	0,3908	0,0266	0,3924	0,0281	0,3942	0,0334
0,33	0,4000	0,0357	0,4020	0,0377	0,4042	0,0399	0,4067	0,0474
0,34	0,4105	0,0462	0,4131	0,0488	0,4159	0,0517	0,4192	0,0614
0,35	0,4210	0,0567	0,4242	0,0599	0,4277	0,0634	0,4317	0,0753
0,36	0,4316	0,0673	0,4353	0,0710	0,4395	0,0752	0,4442	0,0893
0,37	0,4421	0,0778	0,4464	0,0821	0,4512	0,0869	0,4567	0,1033
0,38	0,4526	0,0883	0,4575	0,0932	0,4630	0,0987	0,4692	0,1173
0,39	0,4631	0,0988	0,4686	0,1043	0,4748	0,1105	0,4817	0,1312
0,40	0,4737	0,1094	0,4797	0,1154	0,4865	0,1222	0,4942	0,1452
0,41	0,4842	0,1199	0,4908	0,1266	0,4983	0,1340	0,5067	0,1592
0,42	0,4947	0,1304	0,5020	0,1377	0,5101	0,1458	0,5192	0,1732
0,43	0,5052	0,1410	0,5131	0,1488	0,5218	0,1575	0,5317	0,1871
0,44	0,5158	0,1515	0,5242	0,1599	0,5336	0,1693	0,5442	0,2011
0,45	0,5263	0,1620	0,5353	0,1710	0,5453	0,1811	0,5567	0,2151
0,46	0,5368	0,1725	0,5464	0,1821	0,5571	0,1928	0,5692	0,2291
0,47	0,5473	0,1831	0,5575	0,1932	0,5689	0,2046	0,5817	0,2430
0,48	0,5579	0,1936	0,5686	0,2043	0,5806	0,2164	0,5942	0,2570
0,49	0,5684	0,2041	0,5797	0,2154	0,5924	0,2281	0,6067	0,2710
0,50	0,5789	0,2146	0,5908	0,2266	0,6042	0,2399	0,6192	0,2850
0,51	0,5894	0,2252	0,6020	0,2377	0,6159	0,2517	0,6317	0,2989
0,52	0,6000	0,2357	0,6131	0,2488	0,6277	0,2634	0,6442	0,3129
0,53	0,6105	0,2462	0,6242	0,2599	0,6395	0,2752	0,6567	0,3269
0,54	0,6210	0,2567	0,6353	0,2710	0,6512	0,2869	0,6692	0,3409
0,55	0,6316	0,2673	0,6464	0,2821	0,6630	0,2987	0,6817	0,3548

3.1.4  $\omega$  - Tafeln, mit Druckbewehrung, für  $\xi_{lim} = (x/d)_{lim} = 0,25$ , für Beton bis C 50/60 ( $\sigma_{sd} \leq f_{yd}$ )

$\mu_{Eds,lim}$ [-]	$\omega_1$ [-]	$\xi = x/d$ [-]	$\zeta = z/d$ [-]	$\epsilon_{c2}$ [‰]	$\epsilon_{s1,lim}$ [‰]	$\sigma_{sd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\alpha_R$ [-]	$k_a = a^*/x$ [-]
0,1813	0,2024	<b>0,250</b>	0,896	-3,50	<b>10,500</b>	435	0,810	0,416



$N_{Ed}$  ist als Druckkraft negativ!

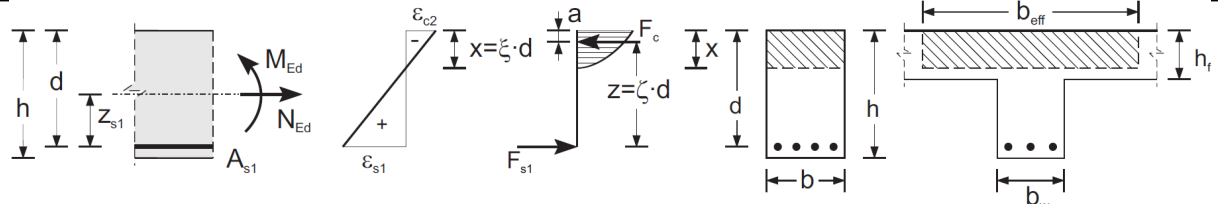
$a^*$ : Abstand des Schwerpunktes der Betondruckspannungen vom oberen Rand des Querschnittes

bezogenes Moment $\mu_{Eds}$ :		erf. Biegezugbewehrung $A_{s1}$ :				erf. Biegedruckbewehrung $A_{s2}$ :			
$\mu_{Eds} = \frac{M_{Eds}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{M_{Ed} - N_{Ed} \cdot z_{s1}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}}$		$A_{s1} = \omega_1 \cdot \frac{b \cdot d}{f_{yd} / f_{cd}} + \frac{N_{Ed}}{f_{yd}}$				$A_{s2} = \omega_2 \cdot \frac{b \cdot d}{f_{yd} / f_{cd}}$			
Beton	<b>C 12/15</b>	<b>C 16/20</b>	<b>C 20/25</b>	<b>C 25/30</b>	<b>C 30/37</b>	<b>C 35/45</b>	<b>C 40/50</b>	<b>C 45/55</b>	<b>C 50/60</b>
$f_{cd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	6,8	9,1	11,3	14,2	17,0	19,8	22,7	25,5	28,3
$f_{yd} / f_{cd}$	63,9	48	38,4	30,7	25,6	21,9	19,2	17,1	15,3

$\mu_{Eds}$ [-]	$d_2/d=0,05$		$d_2/d=0,10$		$d_2/d=0,15$		$d_2/d=0,20$	
	$\epsilon_{s2,lim} = -2,80\text{‰}$		$\epsilon_{s2,lim} = -2,10\text{‰}$		$\epsilon_{s2,lim} = -1,40\text{‰}$		$\epsilon_{s2,lim} = -0,70\text{‰}$	
	$\omega_1$ [-]	$\omega_2$ [-]	$\omega_1$ [-]	$\omega_2$ [-]	$\omega_1$ [-]	$\omega_2$ [-]	$\omega_1$ [-]	$\omega_2$ [-]
0,19	0,2115	0,0091	0,2120	0,0100	0,2126	0,0158	0,2132	0,0336
0,20	0,2220	0,0196	0,2231	0,0215	0,2243	0,0341	0,2257	0,0725
0,21	0,2326	0,0302	0,23	0,0330	0,2361	0,0524	0,2382	0,1113
0,22	0,2431	0,0407	0,2453	0,0445	0,2479	0,0706	0,2507	0,1501
0,23	0,2536	0,0512	0,2565	0,0560	0,2596	0,0889	0,2632	0,1889
0,24	0,2641	0,0618	0,2676	0,0675	0,2714	0,1072	0,2757	0,2277
0,25	0,2747	0,0723	0,2787	0,0790	0,2832	0,1254	0,2882	0,2666
0,26	0,2852	0,0828	0,2898	0,0905	0,2949	0,1437	0,3007	0,3054
0,27	0,2957	0,0933	0,3009	0,1020	0,3067	0,1620	0,3132	0,3442
0,28	0,3062	0,1039	0,3120	0,1135	0,3185	0,1802	0,3257	0,3830
0,29	0,3168	0,1144	0,3231	0,1250	0,3302	0,1985	0,3382	0,4218
0,30	0,3273	0,1249	0,3342	0,1365	0,3420	0,2168	0,3507	0,4607
0,31	0,3378	0,1354	0,3453	0,1480	0,3538	0,2350	0,3632	0,4995
0,32	0,3483	0,1460	0,3565	0,1595	0,3655	0,2533	0,3757	0,5383
0,33	0,3589	0,1565	0,3676	0,1710	0,3773	0,2716	0,3882	0,5771
0,34	0,3694	0,1670	0,3787	0,1825	0,3890	0,2899	0,4007	0,6159
0,35	0,3799	0,1775	0,3898	0,1940	0,4008	0,3081	0,4132	0,6548
0,36	0,3904	0,1881	0,4009	0,2055	0,4126	0,3264	0,4257	0,6936
0,37	0,4010	0,1986	0,4120	0,2170	0,4243	0,3447	0,4382	0,7324
0,38	0,4115	0,2091	0,4231	0,2285	0,4361	0,3629	0,4507	0,7712
0,39	0,4220	0,2196	0,4342	0,2400	0,4479	0,3812	0,4632	0,8100
0,40	0,4326	0,2302	0,4453	0,2515	0,4596	0,3995	0,4757	0,8489
0,41	0,4431	0,2407	0,4565	0,2630	0,4714	0,4177	0,4882	0,8877
0,42	0,4536	0,2512	0,4676	0,2745	0,4832	0,4360	0,5007	0,9265
0,43	0,4641	0,2618	0,4787	0,2860	0,4949	0,4543	0,5132	0,9653
0,44	0,4747	0,2723	0,4898	0,2975	0,5067	0,4725	0,5257	1,0041
0,45	0,4852	0,2828	0,5009	0,3090	0,5185	0,4908	0,5382	1,0430
0,46	0,4957	0,2933	0,5120	0,3205	0,5302	0,5091	0,5507	1,0818
0,47	0,5062	0,3039	0,5231	0,3320	0,5420	0,5273	0,5632	1,1206
0,48	0,5168	0,3144	0,5342	0,3435	0,5538	0,5456	0,5757	1,1594
0,49	0,5273	0,3249	0,5453	0,3550	0,5655	0,5639	0,5882	1,1982
0,50	0,5378	0,3354	0,5565	0,3665	0,5773	0,5821	0,6007	1,2371
0,51	0,5483	0,3460	0,5676	0,3780	0,5890	0,6004	0,6132	1,2759
0,52	0,5589	0,3565	0,5787	0,3895	0,6008	0,6187	0,6257	1,3147
0,53	0,5694	0,3670	0,5898	0,4010	0,6126	0,6369	0,6382	1,3535
0,54	0,5799	0,3775	0,6009	0,4125	0,6243	0,6552	0,6507	1,3923
0,55	0,5904	0,3881	0,6120	0,4240	0,6361	0,6735	0,6632	1,4312

### 3.2 Spannungs-Dehnungslinie des Betonstahls mit Verfestigung

#### 3.2.1 $\omega$ -Tafeln ohne Druckbewehrung, für Beton bis C50/60 mit $\sigma_{sd} \leq f_{td,cal}$



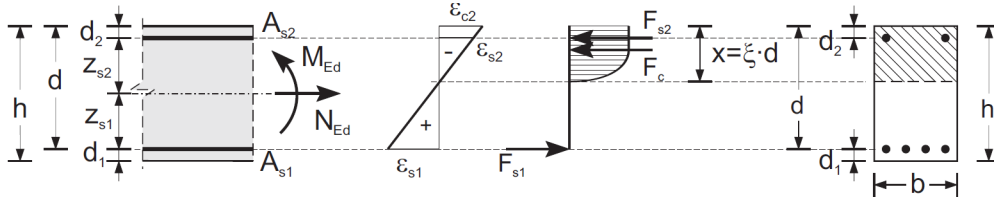
$N_{Ed}$  ist als Druckkraft negativ!

$a^*$ : Abstand des Schwerpunktes der Betondruckspannungen vom oberen Rand des Querschnittes

bezogenes Moment $\mu_{Eds}$ :		erf. Biegezugbewehrung $A_{s1}$ :				mechanischer Bewehrungsgrad $\omega_1$ :		
$\mu_{Eds} = \frac{M_{Eds}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{M_{Ed} - N_{Ed} \cdot z_{s1}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}}$		$A_{s1} = \omega_1 \cdot \frac{b \cdot d}{\sigma_{sd} / f_{cd}} + \frac{N_{Ed}}{\sigma_{sd}}$				$\omega_1 = \frac{A_s^* \cdot \sigma_{sd}}{b \cdot d \cdot f_{cd}}; A_s^* = A_s - \frac{N_{Ed}}{\sigma_{sd}}$		
$\mu_{Eds}$ [-]	$\omega_1$ [-]	$\xi = x/d$ [-]	$\zeta = z/d$ [-]	$\varepsilon_{c2}$ [‰]	$\varepsilon_{s1}$ [‰]	$\sigma_{sd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\alpha_R$ [-]	$K_a = a^*/x$ [-]
0,01	0,0101	0,030	0,990	-0,77	25,00	456,5	0,337	0,346
0,02	0,0203	0,044	0,985	-1,15	25,00	456,5	0,464	0,353
0,03	0,0306	0,055	0,980	-1,46	25,00	456,5	0,553	0,360
0,04	0,0410	0,066	0,976	-1,76	25,00	456,5	0,622	0,368
0,05	0,0515	0,076	0,971	-2,06	25,00	456,5	0,676	0,377
0,06	0,0621	0,086	0,967	-2,37	25,00	456,5	0,718	0,387
0,07	0,0728	0,097	0,962	-2,68	25,00	456,5	0,751	0,396
0,08	0,0836	0,107	0,957	-3,01	25,00	456,5	0,778	0,405
0,09	0,0946	0,118	0,951	-3,35	25,00	456,5	0,801	0,413
0,10	0,1058	0,131	0,946	-3,50	23,29	454,9	0,810	0,416
0,11	0,1170	0,145	0,940	-3,50	20,71	452,4	0,810	0,416
0,12	0,1285	0,159	0,934	-3,50	18,55	450,4	0,810	0,416
0,13	0,1401	0,173	0,928	-3,50	16,73	448,6	0,810	0,416
0,14	0,1519	0,188	0,922	-3,50	15,16	447,1	0,810	0,416
0,15	0,1638	0,202	0,916	-3,50	13,80	445,9	0,810	0,416
0,16	0,1759	0,217	0,910	-3,50	12,61	444,7	0,810	0,416
0,17	0,1882	0,233	0,903	-3,50	11,56	443,7	0,810	0,416
0,18	0,2007	0,248	0,897	-3,50	10,62	442,8	0,810	0,416
0,181	0,2024	0,250	0,896	-3,50	10,50	442,7	0,810	0,416
0,19	0,2134	0,264	0,890	-3,50	9,78	442,0	0,810	0,416
0,20	0,2263	0,280	0,884	-3,50	9,02	441,3	0,810	0,416
0,21	0,2395	0,296	0,877	-3,50	8,33	440,6	0,810	0,416
0,22	0,2529	0,312	0,870	-3,50	7,71	440,1	0,810	0,416
0,23	0,2665	0,329	0,863	-3,50	7,13	439,5	0,810	0,416
0,24	0,2804	0,346	0,856	-3,50	6,61	439,0	0,810	0,416
0,25	0,2946	0,364	0,849	-3,50	6,12	438,5	0,810	0,416
0,26	0,3091	0,382	0,841	-3,50	5,67	438,1	0,810	0,416
0,27	0,3239	0,400	0,834	-3,50	5,25	437,7	0,810	0,416
0,28	0,3391	0,419	0,826	-3,50	4,86	437,3	0,810	0,416
0,29	0,3546	0,438	0,818	-3,50	4,49	437,0	0,810	0,416
0,296	0,3643	0,450	0,813	-3,50	4,28	436,8	0,810	0,416
0,30	0,3706	0,458	0,810	-3,50	4,15	436,7	0,810	0,416
0,31	0,3869	0,478	0,801	-3,50	3,82	436,4	0,810	0,416
0,32	0,4038	0,499	0,793	-3,50	3,52	436,1	0,810	0,416
0,33	0,4211	0,520	0,784	-3,50	3,23	435,8	0,810	0,416
0,34	0,4391	0,542	0,774	-3,50	2,95	435,5	0,810	0,416
0,35	0,4576	0,565	0,765	-3,50	2,69	435,3	0,810	0,416
0,36	0,4768	0,589	0,755	-3,50	2,44	435,0	0,810	0,416
0,37	0,4968	0,614	0,745	-3,50	2,20	434,8	0,810	0,416
0,371	0,4994	0,617	0,743	-3,50	2,17	434,8	0,810	0,416

**3.2.2  $\omega$ -Tafel mit Druckbewehrung für  $x_{lim} = (x/d)_{lim} = 0,617$ , für Beton bis C50/60 mit  $\sigma_{sd} \leq f_{td,cal}$**   
 (Spannungs-Dehnungslinie des Betonstahls mit Verfestigung)

$\mu_{Eds,lim}$ [-]	$\omega_1$ [-]	$\xi=x/d$ [-]	$\zeta=z/d$ [-]	$\varepsilon_{c2}$ [‰]	$\varepsilon_{s1,lim}$ [‰]	$\sigma_{sd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\alpha_R$ [-]	$K_s=a^*/x$ [-]
0,371	0,4994	0,617	0,743	-3,50	2,174	434,8	0,810	0,416



$N_{Ed}$  ist als Druckkraft negativ!

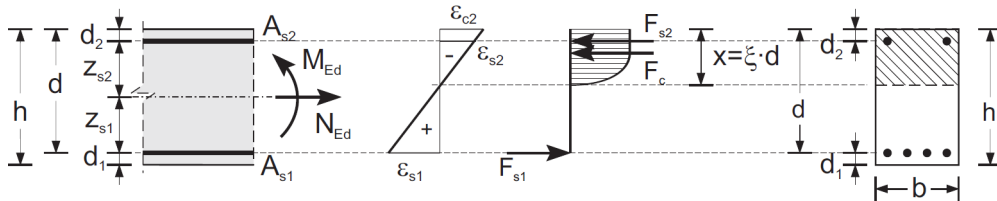
$a^*$ : Abstand des Schwerpunktes der Betondruckspannungen vom oberen Rand des Querschnittes

bezogenes Moment $\mu_{Eds}$ :		erf. Biegezugbewehrung $A_{s1}$ :		erf. Biegedruckbewehrung $\omega_1$ :					
$\mu_{Eds} = \frac{M_{Eds}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{M_{Ed} - N_{Ed} \cdot z_{s1}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}}$		$A_{s1} = \omega_1 \cdot \frac{b \cdot d}{\sigma_{sd} / f_{cd}} + \frac{N_{Ed}}{\sigma_{sd}}$		$A_{s2} = \omega_2 \cdot \frac{b \cdot d}{\sigma_{s2d} / f_{cd}}$					
	$d_2/d = 0,05$		$d_2/d = 0,10$		$d_2/d = 0,15$		$d_2/d = 0,20$		
	$\sigma_{s2d} = -435,8 \text{ MN/m}^2$		$\sigma_{s2d} = -435,5 \text{ MN/m}^2$		$\sigma_{s2d} = -435,2 \text{ MN/m}^2$		$\sigma_{s2d} = -435,0 \text{ MN/m}^2$		
$\mu_{Eds}$ [-]	$\omega_1$ [-]	$\omega_2$ [-]	$\omega_1$ [-]	$\omega_2$ [-]	$\omega_1$ [-]	$\omega_2$ [-]	$\omega_1$ [-]	$\omega_2$ [-]	
0,38	0,5087	0,0092	0,5092	0,0097	0,5097	0,0103	0,5104	0,0109	
0,39	0,5192	0,0197	0,5203	0,0208	0,5215	0,0220	0,5229	0,0234	
0,40	0,5297	0,0302	0,5314	0,0319	0,5333	0,0338	0,5354	0,0359	
0,41	0,5402	0,0408	0,5425	0,0430	0,5450	0,0456	0,5479	0,0484	
0,42	0,5508	0,0513	0,5536	0,0541	0,5568	0,0573	0,5604	0,0609	
0,43	0,5613	0,0618	0,5647	0,0652	0,5686	0,0691	0,5729	0,0734	
0,44	0,5718	0,0723	0,5758	0,0764	0,5803	0,0808	0,5854	0,0859	
0,45	0,5823	0,0829	0,5869	0,0875	0,5921	0,0926	0,5979	0,0984	
0,46	0,5929	0,0934	0,5981	0,0986	0,6039	0,1044	0,6104	0,1109	
0,47	0,6034	0,1039	0,6092	0,1097	0,6156	0,1161	0,6229	0,1234	
0,48	0,6139	0,1144	0,6203	0,1208	0,6274	0,1279	0,6354	0,1359	
0,49	0,6244	0,1250	0,6314	0,1319	0,6391	0,1397	0,6479	0,1484	
0,50	0,6350	0,1355	0,6425	0,1430	0,6509	0,1514	0,6604	0,1609	
0,51	0,6455	0,1460	0,6536	0,1541	0,6627	0,1632	0,6729	0,1734	
0,52	0,6560	0,1565	0,6647	0,1652	0,6744	0,1750	0,6854	0,1859	
0,53	0,6665	0,1671	0,6758	0,1764	0,6862	0,1867	0,6979	0,1984	
0,54	0,6771	0,1776	0,6869	0,1875	0,6980	0,1985	0,7104	0,2109	
0,55	0,6876	0,1881	0,6981	0,1986	0,7097	0,2103	0,7229	0,2234	



**3.2.3  $\omega$ -Tafel mit Druckbewehrung für  $x_{lim} = (x/d)_{lim} = 0,45$ , für Beton bis C50/60 mit  $\sigma_{sd} \leq f_{td,cal}$**   
(Spannungs-Dehnungslinie des Betonstahls mit Verfestigung)

$\mu_{Eds,lim}$ [-]	$\omega_1$ [-]	$\xi = x/d$ [-]	$\zeta = z/d$ [-]	$\varepsilon_{c2}$ [‰]	$\varepsilon_{s1,lim}$ [‰]	$\sigma_{sd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\alpha_R$ [-]	$K_a = a^*/x$ [-]
0,296	0,3643	0,450	0,813	-3,50	4,28	436,8	0,810	0,416



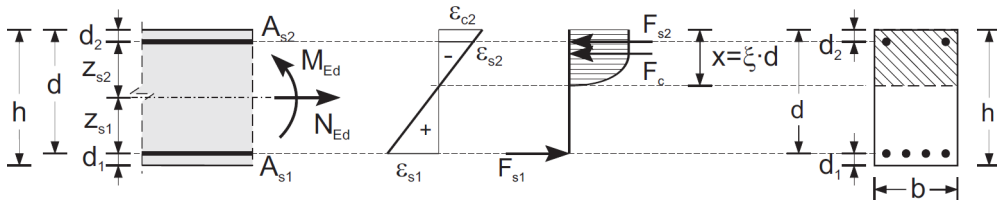
$N_{Ed}$  ist als Druckkraft negativ!

$a^*$ : Abstand des Schwerpunktes der Betondruckspannungen vom oberen Rand des Querschnittes

bezogenes Moment $\mu_{Eds}$ :	erf. Biegezugbewehrung $A_{s1}$ :		erf. Biegedruckbewehrung $\omega_1$ :		$d_2/d = 0,05$		$d_2/d = 0,10$		$d_2/d = 0,15$		$d_2/d = 0,20$	
	$A_{s1} = \omega_1 \cdot \frac{b \cdot d}{\sigma_{sd} / f_{cd}} + \frac{N_{Ed}}{\sigma_{sd}}$		$A_{s2} = \omega_2 \cdot \frac{b \cdot d}{\sigma_{s2d} / f_{cd}}$		$\sigma_{s2d} = -435,7 \text{ MN/m}^2$		$\sigma_{s2d} = -435,3 \text{ MN/m}^2$		$\sigma_{s2d} = -434,9 \text{ MN/m}^2$		$\sigma_{s2d} = -388,9 \text{ MN/m}^2$	
$\mu_{Eds}$ [-]	$\omega_1$ [-]	$\omega_2$ [-]	$\omega_1$ [-]	$\omega_2$ [-]	$\omega_1$ [-]	$\omega_2$ [-]	$\omega_1$ [-]	$\omega_2$ [-]	$\omega_1$ [-]	$\omega_2$ [-]	$\omega_1$ [-]	$\omega_2$ [-]
0,30	0,3684	0,0041	0,3686	0,0043	0,3689	0,0046	0,3692	0,0049				
0,31	0,3789	0,0146	0,3797	0,0155	0,3806	0,0164	0,3817	0,0174				
0,32	0,3895	0,0252	0,3908	0,0266	0,3924	0,0281	0,3942	0,0299				
0,33	0,4000	0,0357	0,4020	0,0377	0,4042	0,0399	0,4067	0,0424				
0,34	0,4105	0,0462	0,4131	0,0488	0,4159	0,0517	0,4192	0,0549				
0,35	0,4210	0,0567	0,4242	0,0599	0,4277	0,0634	0,4317	0,0674				
0,36	0,4316	0,0673	0,4353	0,0710	0,4395	0,0752	0,4442	0,0799				
0,37	0,4421	0,0778	0,4464	0,0821	0,4512	0,0869	0,4567	0,0924				
0,38	0,4526	0,0883	0,4575	0,0932	0,4630	0,0987	0,4692	0,1049				
0,39	0,4631	0,0989	0,4686	0,1043	0,4748	0,1105	0,4817	0,1174				
0,40	0,4737	0,1094	0,4797	0,1155	0,4865	0,1222	0,4942	0,1299				
0,41	0,4842	0,1199	0,4908	0,1266	0,4983	0,1340	0,5067	0,1424				
0,42	0,4947	0,1304	0,5020	0,1377	0,5101	0,1458	0,5192	0,1549				
0,43	0,5052	0,1410	0,5131	0,1488	0,5218	0,1575	0,5317	0,1674				
0,44	0,5158	0,1515	0,5242	0,1599	0,5336	0,1693	0,5442	0,1799				
0,45	0,5263	0,1620	0,5353	0,1710	0,5454	0,1811	0,5567	0,1924				
0,46	0,5368	0,1725	0,5464	0,1821	0,5571	0,1928	0,5692	0,2049				
0,47	0,5473	0,1831	0,5575	0,1932	0,5689	0,2046	0,5817	0,2174				
0,48	0,5579	0,1936	0,5686	0,2043	0,5806	0,2164	0,5942	0,2299				
0,49	0,5684	0,2041	0,5797	0,2155	0,5924	0,2281	0,6067	0,2424				
0,50	0,5789	0,2146	0,5908	0,2266	0,6042	0,2399	0,6192	0,2549				
0,51	0,5895	0,2252	0,6020	0,2377	0,6159	0,2517	0,6317	0,2674				
0,52	0,6000	0,2357	0,6131	0,2488	0,6277	0,2634	0,6442	0,2799				
0,53	0,6105	0,2462	0,6242	0,2599	0,6395	0,2752	0,6567	0,2924				
0,54	0,6210	0,2567	0,6353	0,2710	0,6512	0,2869	0,6692	0,3049				
0,55	0,6316	0,2673	0,6464	0,2821	0,6630	0,2987	0,6817	0,3174				

**3.2.4  $\omega$ -Tafel mit Druckbewehrung für  $x_{lim} = (x/d)_{lim} = 0,25$ , für Beton bis C50/60 mit  $\sigma_{sd} \leq f_{td,cal}$**   
(Spannungs-Dehnungslinie des Betonstahls mit Verfestigung)

$\mu_{Eds,lim}$ [-]	$\omega_1$ [-]	$\zeta=x/d$ [-]	$\zeta=z/d$ [-]	$\epsilon_{c2}$ [‰]	$\epsilon_{s1,lim}$ [‰]	$\sigma_{sd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\alpha_R$ [-]	$K_a=a^*/x$ [-]
0,181	0,2024	0,250	0,896	-3,50	10,50	442,7	0,810	0,416



$N_{Ed}$  ist als Druckkraft negativ!

$a^*$ : Abstand des Schwerpunktes der Betondruckspannungen vom oberen Rand des Querschnittes

bezogenes Moment  $\mu_{Eds}$ :

$$\mu_{Eds} = \frac{M_{Eds}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{M_{Ed} - N_{Ed} \cdot z_{s1}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}}$$

erf. Biegezugbewehrung  $A_{s1}$ :

$$A_{s1} = \omega_1 \cdot \frac{b \cdot d}{\sigma_{sd} / f_{cd}} + \frac{N_{Ed}}{\sigma_{sd}}$$

erf. Biegedruckbewehrung  $\omega_2$ :

$$A_{s2} = \omega_2 \cdot \frac{b \cdot d}{\sigma_{s2d} / f_{cd}}$$

$\mu_{Eds}$ [-]	$d_2/d = 0,05$		$d_2/d = 0,10$		$d_2/d = 0,15$		$d_2/d = 0,20$	
	$\omega_1$ [-]	$\omega_2$ [-]	$\omega_1$ [-]	$\omega_2$ [-]	$\omega_1$ [-]	$\omega_2$ [-]	$\omega_1$ [-]	$\omega_2$ [-]
	$\sigma_{s2d} = -435,4 \text{ MN/m}^2$		$\sigma_{s2d} = -420,0 \text{ MN/m}^2$		$\sigma_{s2d} = -280,0 \text{ MN/m}^2$		$\sigma_{s2d} = -140,0 \text{ MN/m}^2$	
0,19	0,2115	0,0091	0,2120	0,0096	0,2126	0,0102	0,2132	0,0108
0,20	0,2220	0,0197	0,2231	0,0207	0,2243	0,0220	0,2257	0,0233
0,21	0,2326	0,0302	0,2342	0,0319	0,2361	0,0337	0,2382	0,0358
0,22	0,2431	0,0407	0,2453	0,0430	0,2479	0,0455	0,2507	0,0483
0,23	0,2536	0,0512	0,2565	0,0541	0,2596	0,0573	0,2632	0,0608
0,24	0,2641	0,0618	0,2676	0,0652	0,2714	0,0690	0,2757	0,0733
0,25	0,2747	0,0723	0,2787	0,0763	0,2832	0,0808	0,2882	0,0858
0,26	0,2852	0,0828	0,2898	0,0874	0,2949	0,0926	0,3007	0,0983
0,27	0,2957	0,0933	0,3009	0,0985	0,3067	0,1043	0,3132	0,1108
0,28	0,3062	0,1039	0,3120	0,1096	0,3185	0,1161	0,3257	0,1233
0,29	0,3168	0,1144	0,3231	0,1207	0,3302	0,1278	0,3382	0,1358
0,30	0,3273	0,1249	0,3342	0,1319	0,3420	0,1396	0,3507	0,1483
0,31	0,3378	0,1354	0,3453	0,1430	0,3538	0,1514	0,3632	0,1608
0,32	0,3483	0,1460	0,3565	0,1541	0,3655	0,1631	0,3757	0,1733
0,33	0,3589	0,1565	0,3676	0,1652	0,3773	0,1749	0,3882	0,1858
0,34	0,3694	0,1670	0,3787	0,1763	0,3891	0,1867	0,4007	0,1983
0,35	0,3799	0,1775	0,3898	0,1874	0,4008	0,1984	0,4132	0,2108
0,36	0,3905	0,1881	0,4009	0,1985	0,4126	0,2102	0,4257	0,2233
0,37	0,4010	0,1986	0,4120	0,2096	0,4243	0,2220	0,4382	0,2358
0,38	0,4115	0,2091	0,4231	0,2207	0,4361	0,2337	0,4507	0,2483
0,39	0,4220	0,2197	0,4342	0,2319	0,4479	0,2455	0,4632	0,2608
0,40	0,4326	0,2302	0,4453	0,2430	0,4596	0,2573	0,4757	0,2733
0,41	0,4431	0,2407	0,4565	0,2541	0,4714	0,2690	0,4882	0,2858
0,42	0,4536	0,2512	0,4676	0,2652	0,4832	0,2808	0,5007	0,2983
0,43	0,4641	0,2618	0,4787	0,2763	0,4949	0,2926	0,5132	0,3108
0,44	0,4747	0,2723	0,4898	0,2874	0,5067	0,3043	0,5257	0,3233
0,45	0,4852	0,2828	0,5009	0,2985	0,5185	0,3161	0,5382	0,3358
0,46	0,4957	0,2933	0,5120	0,3096	0,5302	0,3278	0,5507	0,3483
0,47	0,5062	0,3039	0,5231	0,3207	0,5420	0,3396	0,5632	0,3608
0,48	0,5168	0,3144	0,5342	0,3319	0,5538	0,3514	0,5757	0,3733
0,49	0,5273	0,3249	0,5453	0,3430	0,5655	0,3631	0,5882	0,3858
0,50	0,5378	0,3354	0,5565	0,3541	0,5773	0,3749	0,6007	0,3983
0,51	0,5483	0,3460	0,5676	0,3652	0,5891	0,3867	0,6132	0,4108
0,52	0,5589	0,3565	0,5787	0,3763	0,6008	0,3984	0,6257	0,4233
0,53	0,5694	0,3670	0,5898	0,3874	0,6126	0,4102	0,6382	0,4358
0,54	0,5799	0,3775	0,6009	0,3985	0,6243	0,4220	0,6507	0,4483
0,55	0,5905	0,3881	0,6120	0,4096	0,6361	0,4337	0,6632	0,4608

#### 4 Bemessung für Zug mit geringer Ausmitte und zentrischen Zug

Zug mit geringer Ausmitte	Zentrischer Zug
	<p>Für <math>Z_{s1} = Z_{s2}</math> gilt:</p> $A_{s1} = A_{s2} = \frac{1}{2} \cdot \frac{N_{Ed}}{f_{yd}}$
$A_{s2} = \frac{N_{Ed}}{f_{yd}} \cdot \frac{Z_{s1} - e}{z_{s1} + Z_{s2}}$ $A_{s1} = \frac{N_{Ed}}{f_{yd}} \cdot \frac{Z_{s2} + e}{Z_{s1} + Z_{s2}}$	

#### 5 Bemessung für Querkraft (DIN EN 1992-1-1, 6.2)

##### 5.1 Bemessungswert der einwirkenden Querkraft $V_{Ed}$ (DIN EN 1992-1-1, 6.2.1)

Die **maßgebende Querkraft**  $V_{Ed}$  ist bei gleichmäßig verteilter Last und direkter Auflagerung im **Abstand  $d$**  vom Auflagerend zu ermitteln.

Bei **indirekter Stützung mit Aufhängebewehrung** ist die Querkraft am Auflagerend maßgebend. Hierbei ist die Aufhängebewehrung nach DIN EN 1992-1-1, 9.2.5 im Kreuzungsbereich beider Träger für die gesamte Auflagerkraft einzubauen.

Bei **auflagnernahen Einzellasten  $Q$**  mit oberseitiger Eintragung und einem Abstand  $a_v \leq 2,0 \cdot d$  und direkter Auflagerung darf der Querkraftanteil für die Ermittlung der Querkraftbewehrung um den Faktor  $\beta = a_v / (2,0 \cdot d)$  abgemindert werden (mit  $\min a_v = 0,5 \cdot d$ )

$$V_{Ed} = V_{Ed,0} \cdot \beta$$

$$\text{bzw. } V_{Ed} = V_{Ed,0} - \Delta V_Q \quad \text{mit } \Delta V_Q = V_Q (1 - \beta)$$

$V_{Ed,0}$  Grundbemessungswert der auf den Querschnitt einwirkenden Querkraft

Die Abminderung mit  $\beta$  darf nur bei vollständiger Verankerung der Längsbewehrung im Auflager angewendet werden.

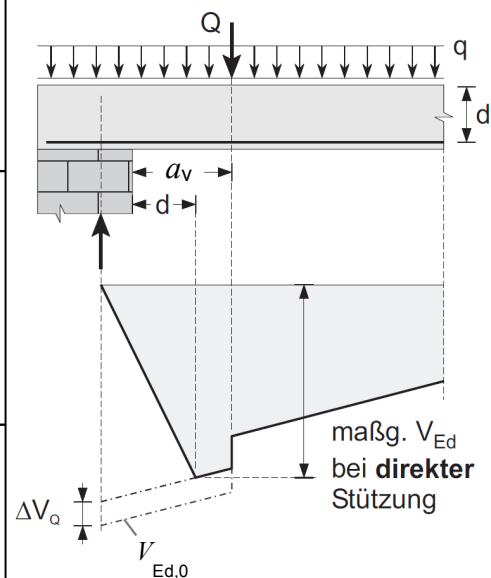
Bei Bauteilen ohne rechnerisch erforderliche Bewehrung: (EC 2-1-1, 6.2.2)

$$V_{Ed,0} \leq 0,5 \cdot b_w \cdot d \cdot v \cdot f_{cd} \quad \text{mit } v = 0,6 (1 - f_{ck} / 250) (f_{ck} \text{ in N/mm}^2)$$

Bei Bauteilen mit rechnerisch erforderlicher Bewehrung: (EC 2-1-1, 6.2.3)

$$V_{Ed} \leq A_{sw} \cdot f_{ywd} \cdot \sin \alpha \quad (\text{vgl. DIN EN 1992-1-1, Gleich. (6.19) und Bild 6.6})$$

$$V_{Ed,0} \leq V_{Rd,max}$$



##### 5.2 Bemessungswerte der aufnehmbaren Querkraft $V_{Rd,i}$

Bemessungswerte bei unterschiedlichen Versagensmechanismen:

$V_{Rd,c}$  aufnehmbare Querkraft eines Bauteils ohne Querkraftbewehrung

$V_{Rd,s}$  aufnehmbare Querkraft bei Fließen der Querkraftbewehrung

$V_{Rd,max}$  aufnehmbare Querkraft bei Erreichen der Druckstrebenfestigkeit

$V_{pd}$  Querkraftkomponente der Spannstahlkraft im Grenzzustand der Tragfähigkeit ( $P_m \leq A_p \cdot f_{p0,1k} / \gamma_s$ )

Bei **Bauteilen mit veränderlicher Nutzhöhe** ergeben sich die weiteren **Bemessungswerte**:

$V_{ccd}$  Bemessungswert der Querkraftkomponente in der Druckzone

$V_{td}$  Bemessungswert der Querkraftkomponente der Stahlzugkraft

$$V_{Rd} = V_{Rd,s} + V_{ccd} + V_{td} + V_{pd}$$

##### 5.3 Nachweisbedingungen

$V_{Rd,ct} \geq V_{Ed}$  rechnerisch keine Querkraftbewehrung erforderlich

$V_{Rd,ct} < V_{Ed}$  Querkraftbewehrung erforderlich mit  $V_{Rd,sy} \geq V_{Ed}$

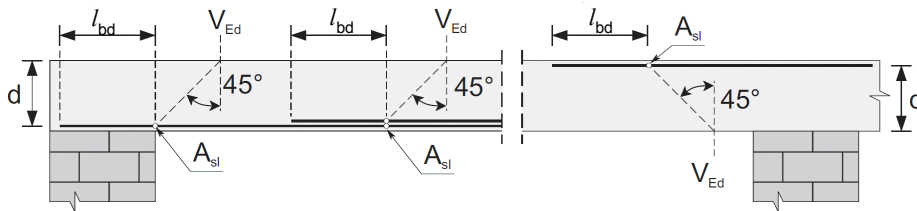
$V_{Rd,max} \geq V_{Ed}$  der Bemessungswert der einwirkenden Querkraft darf in keinem Querschnitt des Bauteils den Wert  $V_{Rd,max}$  überschreiten

## 5.4 Bauteile ohne rechnerisch erforderliche Querkraftbewehrung: $V_{Ed} \leq V_{Rd,ct}$ (DIN EN 1992-1-1, 6.2.2)

Bemessungswert der Querkrafttragfähigkeit  $V_{Rd,ct}$  des Betonquerschnitts:

$$V_{Rd,ct} = \left[ \frac{0,15}{\gamma_c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} + 0,12 \cdot \sigma_{cp} \right] \cdot b_w \cdot d > V_{Rd,ct,min}$$

- mit:
- $V_{Rd,ct,min} = [v_{min} - 0,12 \sigma_{cd}] \cdot b_w \cdot d$
  - $v_{min} = \kappa_l / \gamma_c \cdot \kappa^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2}$  (nach EC 2-1-1/NA Gl. (NA.6.3a) und (NA.6.3.b))
  - $b_w$  kleinste Querschnittsbreite des Zuggurtes
  - $d$  statische Nutzhöhe der Biegebewehrung
  - $\gamma_c$  Material Sicherheitsbeiwert Beton, bis C50/60:  $\gamma_c = 1,5$
  - $k = 1 + \sqrt{200/d} \leq 2,0$  Beiwert für den Einfluss der Bauteilhöhe;  $d$  ist in mm einzusetzen
  - $\kappa_l$  für  $d \leq 600$  mm:  $\kappa_l = 0,0525$ ; für  $d \geq 800$  mm:  $\kappa_l = 0,0375$ ; für  $d = 600-800$  mm; Zwischenwerte interpolieren
  - $\rho_l = A_{sl} / (b_w \cdot d) \leq 0,02$  Längsbewehrungsgrad
  - $A_{sl}$  Querschnittsfläche der Zugbewehrung, die mindestens um das Maß  $d$  über den betrachteten Querschnitt hinaus geführt und dort wirksam verankert wird. Bei Vorspannung mit sofortigem Verbund darf die Spannstahlfläche voll auf  $A_{sl}$  angerechnet werden.
  - $f_{ck}$  charakteristischer Wert der Betondruckfestigkeit; in  $N/mm^2$
  - $\sigma_{cp}$  Betonlängsspannung in Höhe des Schwerpunktes des Querschnitts  $\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c$  in  $N/mm^2$
  - $N_{Ed}$  Längskraft infolge äußerer Einwirkung oder Vorspannung ( $N_{Ed} > 0$  für Druck;  $N_{Ed} < 0$  für Zug)



In Sonderfällen, z. B. bei vorgespannten, einfeldrigen Spannbetonfertigteilen mit sofortigem Verbund, wenn

- vorwiegend ruhende Belastung vorherrscht und
- Biegezugspannung  $\sigma_c < f_{ctk;0,05} / \gamma_c$

kann der Bemessungswert der Querkrafttragfähigkeit  $V_{Rd,c}$  alternativ ermittelt werden:

$$V_{Rd,c} = \frac{I \cdot b_w}{S} \cdot \sqrt{(f_{ctd})^2 - \alpha_l \cdot \sigma_{cp} \cdot f_{ctd}}$$

- mit:
- $I$  Flächenmoment 2. Grades des Querschnitts (Trägheitsmoment)
  - $b_w$  kleinste Querschnittsbreite des Zuggurtes unter Berücksichtigung evtl. Hüllrohre
  - $S$  Flächenmoment 1. Grades des Querschnitts (Statisches Moment)
  - $\alpha_l = l_x / l_{pl2} \leq 1,0$  bei Vorspannung mit sofortigem Verbund  
 $= 1$  in den übrigen Fällen
  - $l_x$  Abstand des betrachteten Querschnitts vom Beginn der Verankerungslänge
  - $l_{pl2}$  oberer Bemessungswert der Übertragungslänge des Spannglieds nach DIN 1045-1, 8.7.6
  - $f_{ctd} = \alpha_{ct} \cdot f_{ctk;0,05} / \gamma_c$
  - $\alpha_{ct}$  Beiwert Langzeitauswirkung, bewehrter Beton:  $\alpha_{ct} = 0,85$ ; unbewehrter Beton:  $\alpha_{ct} = 0,70$  (n. EC 2-1-1; 12.3.1)
  - $f_{ctk;0,05}$  5%-Quantilwert der Betonzugfestigkeit nach EC 2-1-1, Tab. 3.1
  - $\gamma_c$  Teilsicherheitsbeiwert für Beton, nach EC 2-1-1, 2.4.2.4:  $\gamma_c = 1,5$

## 5.5 Bauteile mit rechnerisch erforderlicher Querkraftbewehrung: $V_{Ed} > V_{Rd,ct}$ (DIN EN 1992-1-1, 6.2.3)

Nachweis:  $V_{Ed} \leq V_{Rd,s}$

Bügel rechtwinklig zur Bauteilachse:

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{ywd} \cdot z \cdot \cot \theta \quad (\text{EC 2-1-1 (6.8)})$$

Querkraftbewehrung um Winkel  $\alpha$  geneigt:

$$V_{Rd,sy} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{ywd} \cdot z \cdot (\cot \theta + \cot \alpha) \cdot \sin \alpha \quad (\text{EC 2-1-1 (6.13)})$$

- mit:
- $A_{sw}$  Querschnittsfläche der Querkraftbewehrung (Bügel)
  - $s$  Abstand der Bügel in Richtung der Biegezugbewehrung
  - $f_{ywd}$  Bemessungswert der Betonstahlstreckgrenze
  - $z$  innerer Hebelarm:  $z = 0,9 \cdot d$  mit  $z \leq d - 2 \cdot c_{v,1}$  und  $z \leq d - c_{v,1} - 30$  mm  
mit  $c_{v,1}$  = Verlegemaß der Längsbewehrung in der Betondruckzone in mm  
bei Zugstäben:  $z$  = Abstand der Zugbewehrungen
  - $\theta$  Neigung der Druckstreben  $\leq 60^\circ$
- $0,58 \leq \cot \theta \leq \frac{1,2 - 1,4 \sigma_{cd} / f_{cd}}{1 - V_{Rd,c} / V_{Ed}}$  (NA.6.7a) für Normalbeton  $\cot \theta \leq 3,0$  bzw.  $\theta \geq 18,5^\circ$
- Für  $\cot \theta < 1,0$  ist die Querkraftbewehrung geneigt einzubauen!

mit  $V_{Rd,c} = \left[ c \cdot 0,48 \cdot f_{ck}^{1/3} \cdot \left( 1 - 12 \cdot \frac{\sigma_{cd}}{f_{cd}} \right) \right] \cdot b_w \cdot z$  (NA.6.7b)

- $c = 0,5$
- $\sigma_{cd}$  Betonlängsspannung in Höhe des Schwerpunktes des Querschnitts  $= N_{Ed} / A_c$  (in  $N/mm^2$ )
- $N_{Ed}$  Längskraft infolge äußerer Einwirkung oder Vorspannung ( $N_{Ed} > 0$  für Druck)
- $f_{ck}$  charakteristische Betondruckfestigkeit; in  $N/mm^2$

Näherungsweise kann angenommen werden:

- $\cot \theta = 1,2$  für reine Biegung
- $= 1,2$  für Biegung mit Längsdruckkraft
- $= 1,0$  für Biegung mit Längszugkraft

## 5.6 Maximale Querkrafttragfähigkeit bei Bauteilen mit Querkraftbewehrung: $V_{Ed} \geq V_{Rd,ct}$ (DIN EN 1992-1-1, 6.2.3)

Nachweis:  $V_{Ed} \leq V_{Rd,max}$

Bügel rechtwinklig zur Bauteilachse:

$$V_{Rd,max} = \frac{1 \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd}}{\cot \theta + \tan \theta}$$

Querkraftbewehrung um Winkel  $\alpha$  geneigt:

$$V_{Rd,max} = 1 \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd} \cdot \frac{\cot \theta + \cot \alpha}{1 + \cot^2 \theta}$$

mit  $v_1 = 0,75 \cdot v_2$   
 $v_2 = (1,1 - f_{ck} / 500) \leq 1,0$

Bei Spanngliedern im Steg und wenn  $\Sigma d_h > b_w / 8$  ( $d_h$  = Hüllrohr-Außendurchmesser) ist der Nachweis mit der Breite  $b_{w,nom}$  zu führen, dabei gilt:

- für verpresste Spannglieder:  
 $b_{w,nom} = b_w - 0,5 \cdot \Sigma d_h$  für Beton bis C 50/60 bzw. LC 50/55  
 $b_{w,nom} = b_w - 1,0 \cdot \Sigma d_h$  für Beton ab C 55/67 bzw. LC 55/60
- für nicht verpresste Spannglieder und Spannglieder ohne Verbund:  
 $b_{w,nom} = b_w - 1,2 \cdot \Sigma d_h$  (eine Abminderung infolge eingelegter Querbewehrung ist nicht zulässig)

## 6 Bemessung für Schubkräfte zwischen Balkensteg und Gurt (DIN EN 1992-1-1, 6.2.4)

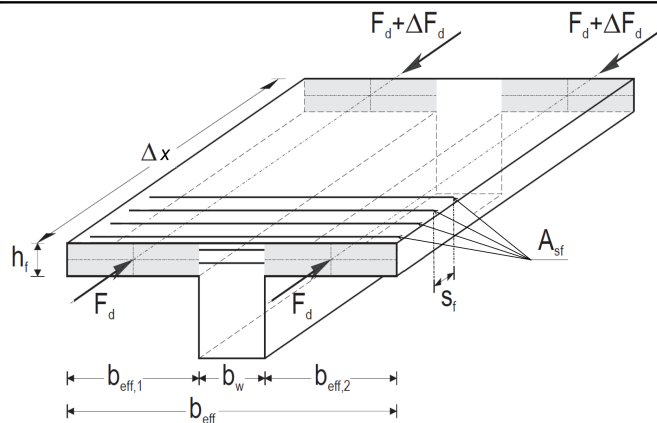
Mittlerer aufzunehmender Längsschub  $v_{Ed}$   
je Längeneinheit:

$$v_{Ed} = \frac{\Delta F_d}{h_f \cdot \Delta x}$$

mit:  $\Delta F_d$  Längskraftdifferenz über die Länge  $\Delta x$   
des betrachteten Gurtabschnitts

$\Delta x$  Abstand, in dem  $\Delta F_d$  als konstant angenommen werden kann, dabei gilt:

- höchstens der halbe Abstand zwischen Momentennullpunkt und Momentenmaximum
- bei nennenswerten Einzellasten sollten die Abschnitte  $\Delta x$  nicht über die Querkraftsprünge hinausgehen



**Erforderliche Querbewehrung im Gurt:**

$$a_{sf} = \frac{A_{sf}}{s_f} = \frac{v_{Ed} \cdot h_f}{f_{yd} \cdot \cot \theta_f} = \frac{\Delta F_d}{f_{yd} \cdot \Delta x \cdot \cot \theta_f}$$

$$v_{Ed} \leq v \cdot f_{cd} \cdot \sin \theta_f \cdot \cos \theta_f$$

für Zug- und Druckgurt

mit  $\cot \theta_f = 1,0$  bei Zuggurten  
 $= 1,2$  bei Druckgurten  
 $v = v_1 = 0,75 \cdot v_2$   
 $v_2 = (1,1 - f_{ck} / 500) \leq 1,0$   
 $h_f$  Höhe des Gurtes

- Die Begrenzung von  $a_{sf}$  erfolgt zur Vermeidung des Druckstrebenversagens.
- Bei kombinierter Beanspruchung aus Schub zwischen Gurt und Steg und aus Querbiegung ist der jeweils größere erforderliche Stahlquerschnitt anzuordnen, der sich entweder aus der Schubbewehrung  $a_{sf}$  oder der erforderlichen Biegebewehrung für Querbiegung und der halben Schubbewehrung  $a_{sf}$  ergibt.
- Wenn in der Gurtplatte eine Querkraftbewehrung erforderlich wird, sollte der Nachweis der Druckstreben in beiden Beanspruchungsrichtungen des Gurtes der Scheibe und Platte in linearer Interaktion geführt werden:

$$(V_{Ed,Platte} / V_{Rd,max,Platte}) + (V_{Ed,Scheibe} / V_{Rd,max,Scheibe}) \leq 1,0$$

## 7 Schubkraftübertragung in Verbundfugen (DIN EN 1992-1-1, 6.2.5)

### 7.1 Allgemeines, Nachweis

In der Verbundfuge erfolgt die Schubkraftübertragung aufgrund der Rauigkeit und der Oberflächenbeschaffenheit der Fuge zwischen:

- nebeneinanderliegenden Fertigteilen
- Ortbeton und einem Fertigteil
- nacheinander betonierten Ortbetonabschnitten

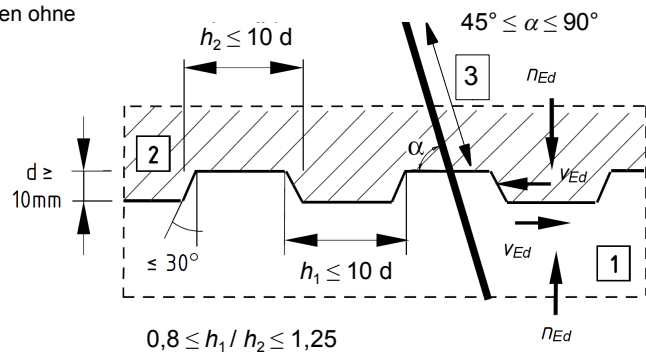
Die **Fugenausbildung** ist:

- sehr glatt**
- die Oberfläche wird gegen Stahl, Kunststoff oder glatte Holzschalung betoniert
  - die Oberfläche von unbehandelten Fugenoberflächen bei Verwendung von Beton mit fließfähiger bis sehr fließfähiger Konsistenz

- glatt**
- die Oberfläche wird abgezogen oder
  - die Oberfläche wird im Gleit- bzw. Extruderverfahren hergestellt
- oder
- die Oberfläche bleibt nach dem Verdichten ohne weitere Behandlung

- rau**
- die Oberfläche weist eine definierte Rauigkeit auf (NCI Zu 6.2.5(2))

- verzahnt**
- die Geometrie der Oberfläche entspricht nebenstehendem Bild
  - vorhandene Gesteinskörnung  $\geq 16$  mm und Freilegung von 6 mm Tiefe mittels Hochdruckwasserstrahl



**Nachweis:**  $v_{Edj} \leq v_{Rdj}$

- mit  $v_{Edj}$  in der Verbundfuge zu übertragende Längsschubkraft (je Längeneinheit)  
 $v_{Rdj}$  Längsschubtragfähigkeit in Verbundfugen bzw. Fugen zwischen Fertigteilen (je Längeneinheit)

- 1 erster Betonierabschnitt
- 2 zweiter Betonierabschnitt
- 3 Verankerung der Bewehrung

### 7.2 Zu übertragende Schubkraft $v_{Edj}$ je Längeneinheit (DIN EN 1992-1-1, 6.2.5(1))

$$v_{Edj} = \frac{F_{cdj}}{F_{cd}} \cdot \frac{V_{Ed}}{z \cdot b_i}$$

- mit  $F_{cd} = M_{Ed} / z$  Gurtlängskraft aus Biegung im betrachteten Querschnitt  
 $F_{cdj}$  Längskraftanteil im nachträglich ergänzten Querschnittsteil  
 $z$  innerer Hebelarm  
 $V_{Ed}$  Bemessungswert der im betrachteten Querschnitt wirkenden Querkraft

### 7.3 Bemessungswerte der aufnehmbaren Schubkraft $v_{Rdj}$ je Längeneinheit (DIN EN 1992-1-1, 6.2.5)

$$v_{Rdj} = v_{Rdj,ct} + v_{Rdj,sy} \leq v_{Rdj,max}$$

- mit  $v_{Rdj}$  Bemessungswert der Längsschubtragfähigkeit in Fugen  
 $v_{Rdj,ct}$  Traganteil der aufnehmbaren Schubkraft aus Adhäsion und Reibung  
 $v_{Rdj,sy}$  Traganteil der aufnehmbaren Schubkraft aus Verbundbewehrung  
 $v_{Rdj,max}$  maximal aufnehmbare Schubkraft nach DIN EN 1992-1-1, 6.2.5 (6.25)

### 7.3 Bemessungswerte der aufnehmbaren Schubkraft $v_{Rdj}$ je Längeneinheit (DIN EN 1992-1-1, 6.2.5(1))

$$v_{Rd,ct} = c \cdot f_{ctd} + \mu \cdot \sigma_n$$

- mit  $c$  Rauigkeitsbeiwert nach nebenstehender Tabelle  
 $f_{ctd}$  Bemessungswert der Betonzugfestigkeit des Ortbetons oder des Fertigteils, der kleinere Wert ist maßgebend (in N/mm<sup>2</sup>)  
 mit  $f_{ctd} = f_{ctk,0,05} / \gamma_c$  und  $\gamma_c = 1,8$  für unbewehrtem Beton  
 $\mu$  Reibungsbeiwert nach nebenstehender Tabelle  
 $\sigma_n$  Normalspannung infolge der äußeren Last senkrecht zur Fugenfläche  
 $\sigma_n < 0,6 \cdot f_{ctd}$  ( $\sigma_n > 0$  für Druckspannung)

$$v_{Rdj,sy} = \rho \cdot f_{yd} \cdot (1,2\mu \cdot \sin \alpha + \cos \alpha)$$

- mit  $\rho$   $A_s / A_i$   
 $A_s$  Querschnitt der die Fuge kreuzenden Bewehrung mit beidseitig ausreichender Verankerung einschließlich vorhandener Querbewehrung  
 $A_i$  Fläche der schubübertragenden Fuge  
 $f_{yd}$  Bemessungswert der Betonstahlstreckgrenze der die Fuge kreuzenden Bewehrung  
 $\alpha$  Neigungswinkel der die Fuge kreuzenden Bewehrung  $45^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$

$$v_{Rdj,max} = 0,5 \cdot v \cdot f_{ctd}$$

- mit  $v$  Abminderungswert für die Betondruckfestigkeit bei Schubrisen nach EC 2-1-1, 6.2.2 (6)  
 $v = 0,6 (1 - f_{ck} / 250)$  ( $f_{ck}$  in [N/mm<sup>2</sup>])

Oberflächenbeschaffenheit	$c$	$\mu$
verzahnt	0,50	0,9
rau	0,40 <sup>1)</sup>	0,7
glatt	0,20 <sup>1)</sup>	0,6
sehr glatt	0 <sup>2)</sup>	0,5

<sup>1)</sup> steht die Fuge senkrecht zur Fugenfläche unter Zug, dann ist  $c = 0$  (Ausnahme: verzahnte Fuge)  
<sup>2)</sup> vgl. Nationalen Anhang, in begründeten Fällen:  $0,025 \leq c \leq 0,1$

### 7.4 Berechnung des Bewehrungsquerschnitts $a_{sj}$

Berechnung des Bewehrungsquerschnitts  $a_{sj}$ :

$$a_{sj} = \left( \frac{F_{cdj}}{F_{cd}} \cdot \frac{V_{Ed}}{z} - (c_j \cdot f_{ctd} + \mu \cdot \sigma_n) \cdot b \right) / \left( f_{yd} (1,2\mu \cdot \sin \alpha + \cos \alpha) \right)$$

Vereinfachte Berechnung von  $a_{sj}$ :

$$a_{sj} = \frac{V_{Ed} / z - 0,2 \cdot b}{0,72 f_{yd}} \cdot 10^4 \text{ (glatt)}$$

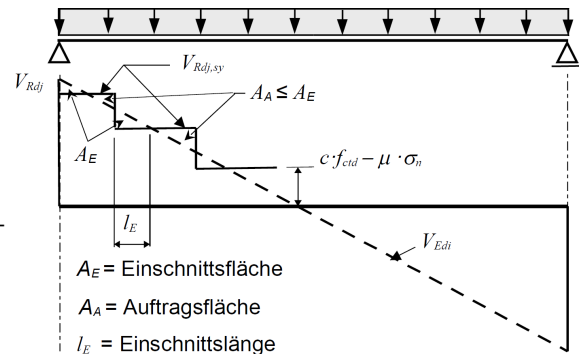
$$a_{sj} = \frac{V_{Ed} / z - 0,41 \cdot b}{0,84 f_{yd}} \cdot 10^4 \text{ (rau)}$$

Querkraft  $V$  in MN  
 Abmessungen  $b, z$  in m  
 Streckgrenze  $f_{yd}$  in N/mm<sup>2</sup>  
 BSt 500 S  $f_{yd} = 435$  N/mm<sup>2</sup>

- mit
- Betongüte C 25/30 oder höher
  - Vernachlässigung von  $\sigma_n$  infolge äußerer Lasten
  - Anschluss der gesamten Druckgurkraft:  $F_{cdj} = F_{cd}$
  - Neigung der die Fuge kreuzenden Bewehrung:  $\alpha = 90^\circ$

### 7.5 Konstruktionsregeln

- Bei biegebeanspruchten Bauteilen darf die Fugenverbundbewehrung wie rechts abgebildet abgestuft werden.
- Wenn der Verbund durch geneigte Bewehrung (wie z.B. Gitterträger) sichergestellt wird, darf für den Traganteil der Bewehrung an  $v_{Rdj}$  die Resultierende der diagonalen Einzelstäbe mit  $45^\circ \leq \alpha \leq 135^\circ$  angesetzt werden.
- Die Schubtragfähigkeit in Längsrichtung von vergossenen Fugen zwischen Decken und Wandelementen sowie bei nebeneinanderliegenden Fertigteilen ohne Verbindung durch Mörtel oder Kunstharzfugen darf nach Abschnitt 7.3 bestimmt werden.
- Die Verbundbewehrung darf als Querkraftbewehrung angerechnet werden wenn diese als Schubbewehrung ausgeführt wird.



- Die Schubbewehrung der Fuge muss auf beiden Seiten der Kontaktfläche verankert sein.
- Bei dynamischer oder Ermüdungsbeanspruchung ist der Adhäsionsanteil  $c = 0$  zu setzen (NCI zu 6.2.5 (5))
- Für die Verbundbewehrung bei Ortbetonergänzungen sollten die Konstruktionsregeln für die Querkraftbewehrung eingehalten werden.
- Für die Verbundbewehrung bei Ortbetonergänzungen in Platten ohne rechnerisch erforderliche Querkraftbewehrung dürfen für die maximale Abstände der Verbundbewehrung:nachfolgende Konstruktionsregeln angewendet werden:
  - $2,5 h \leq 300$  mm in Spannrichtung,  $5,0 h \leq 750$  mm quer zur Spannrichtung ( $\leq 375$  mm zum Rand)
- Für aufgebogene Längsstäbe mit angeschweißter Verankerung darf für den Abstand in Längsrichtung ( $\cot \theta + \cot \alpha$ )  $z \leq 200$  mm gewählt werden, wenn die Plattendicke  $h \leq 200$  mm beträgt.
- Quer zur Spannrichtung beträgt in Bauteilen mit erforderlicher Querkraftbewehrung der maximale Abstand 400 mm für Deckendicken bis 400 mm. Für größere Deckendicken ist NCI zu 9.3.2 (4) zu beachten.
- Bei überwiegend auf Biegung beanspruchten Bauteilen mit Fugen rechtwinklig zur Systemachse wirkt die Fuge wie ein Biegeriss. In diesem Fall sind die Fugen rau oder verzahnt auszuführen und der Nachweis entsprechend DIN EN 1992-1-1, 6.2.2 bzw.6.2.3 und dem NCI zu 6.2.5 geführt werden.

## 8 Bemessung für Torsion (DIN EN 1992-1-1, 6.3)

### 8.1 Allgemeines, Nachweise

Eine Bemessung für Torsion ist durchzuführen, wenn sie zur Einhaltung des Gleichgewichts erforderlich ist.

Eine Verträglichkeitstorsion muss rechnerisch nicht erfasst werden, gleichwohl sollte hierfür eine konstruktive Bewehrung angeordnet werden, um eine übermäßige Rissbildung zu vermeiden.

**Keine Querkraft- und Torsionsbewehrung erforderlich, wenn:**

$$T_{Ed} \leq \frac{V_{Ed} \cdot b_w}{4,5} \quad \text{und} \quad V_{Ed} \cdot \left(1 + \frac{4,5 \cdot T_{Ed}}{V_{Ed} \cdot b_w}\right) \leq V_{Rd,ct}$$

**Schubkraft  $V_{Ed,i}$  infolge eines Torsionsmoments  $T_{Ed}$ :**

$$V_{Ed,i} = \frac{T_{Ed} \cdot z}{2A_k}$$

**Schubkraft  $V_{Ed,T+V}$  infolge Querkraft und Torsion:**

$$V_{Ed,T+V} = V_{Ed,i} + \frac{V_{Ed} \cdot t_{ef,i}}{b_w}$$

mit  $T_{Ed}$  Bemessungswert des einwirkenden Torsionsmoments

$V_{Ed}$  Bemessungswert der einwirkenden Querkraft

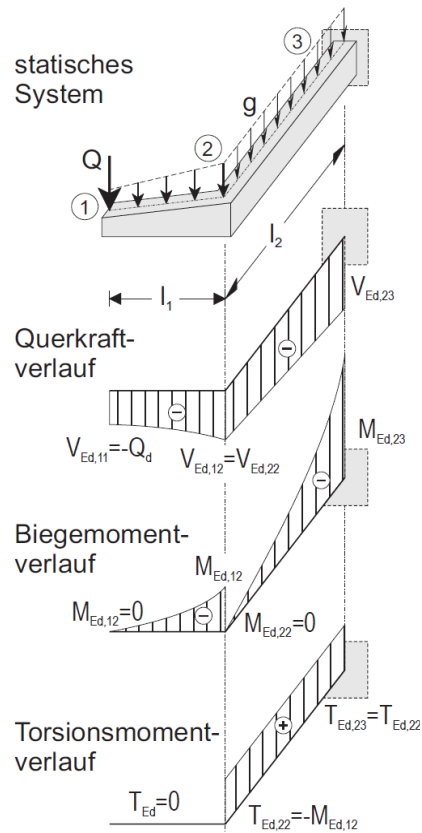
$V_{Rd,ct}$  Bemessungswert der aufnehmbaren Querkraft eines Bauteils ohne Querkraftbewehrung (siehe 7.3.1)

$b_w$  Stegbreite

$A_k$  durch die Bewehrungsschwerelinie eingeschlossene Fläche; die Bewehrungsschwerelinien sind durch die Achsen der Längsstäbe in den Ecken definiert

$z$  Höhe einer Wand, definiert durch den Abstand der Schnittpunkte der Wandmittellinie mit den Mittellinien der angrenzenden Wände

$t_{ef,i}$  effektive Dicke einer Wand; gleich dem doppelten Abstand der Bewehrungsschwerelinie zur Außenfläche, aber nicht größer als die vorhandene Wanddicke



### 8.2 Erforderliche Torsionsbewehrung (DIN EN 1992-1-1, 6.3.2 (1)(3))

Bügelbewehrung: 
$$a_{sw} = \frac{A_{sw}}{s_w} = \frac{T_{Ed}}{2A_k} \cdot \tan \theta \cdot \frac{1}{f_{yd}}$$

Längsbewehrung: 
$$a_{sl} = \frac{A_{sl}}{u_k} = \frac{T_{Ed}}{2A_k} \cdot \cot \theta \cdot \frac{1}{f_{yd}}$$

mit  $u_k$  Umfang der Fläche  $A_k$

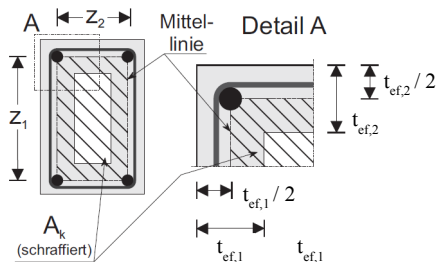
$T_{Ed}$  einwirkendes Torsionsmoment

$s_w$  Abstand der Bügel

$f_{yd}$  Bemessungswert der Streckgrenze des Betonstahls

$\theta$  Ermittlung der Mindestdruckstrebenneigung min.  $\theta$  nach 5.5.

Für Torsions- und Querkrafteinwirkung ist dabei für  $V_{Ed,T+V} = V_{Ed,T} + V_{Ed} \cdot (t_{ef,i} / b_w)$  und für  $b_w = t_{ef,i}$  einzusetzen; vereinfachend darf die Bewehrung für Torsion allein für  $\theta = 45^\circ$  ermittelt und zu der nach 5.5 ermittelten Querkraftbewehrung addiert werden.



### 8.3 Maximal aufnehmbare Torsionsmomente (DIN EN 1992-1-1, 6.3.2 (4))

Bemessungswert des maximal aufnehmbaren Torsionsmoments  $T_{Rd,max}$ :

$$T_{Rd,max} = 2 \cdot v \cdot \alpha_{cw} \cdot f_{cd} \cdot A_k \cdot t_{ef,i} \cdot \sin \theta \cdot \cos \theta$$

mit  $\alpha_{cw} = 1,0$  (vgl. NDP Zu 6.2.3 (3))

$v = 0,6 (1 - f_{ck} / 250)$  ( $f_{ck}$  in [N/mm<sup>2</sup>] nach DIN EN 1992-1-1, 6.2.2 (6))

Bei gleichzeitig auftretender Torsions- und Querkrafteinwirkung sind, um die maximale Tragfähigkeit nicht zu überschreiten, folgende Bedingungen einzuhalten:

für Kompaktquerschnitte (EC 2-1-1/NA, NA.6.29.1):

für sonstige Querschnitte (EC 2-1-1, Gleich. 6.29):

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

$$\frac{T_{Ed}}{T_{Rd,max}} + \frac{V_{Ed}}{V_{Rd,max}} \leq 1$$

mit  $V_{Rd,max}$  Bemessungswert der aufnehmbaren Querkraft. Bei Kastenquerschnitten (Bewehrung an der Innen- und Außenseite) darf dieser Wert mit  $v = 0,75$  berechnet werden.



## 9 Bemessung für Durchstanzen (DIN EN 1992-1-1, 6.4)

### 9.1 Bezeichnungen und Nachweisschnitte

Die Durchstanznachweise gelten für:

- Platten
- Fundamente
- Rippendecken mit Vollquerschnitt im Bereich der Last-einleitungsfläche (z.B. über der Stützung)

Die Regelungen gelten für folgende **Lasteinleitungsflächen**  $A_{load}$ :

bei kreisförmigen und rechteckigen Querschnitten:

$$u_0 \leq 12 \cdot d$$

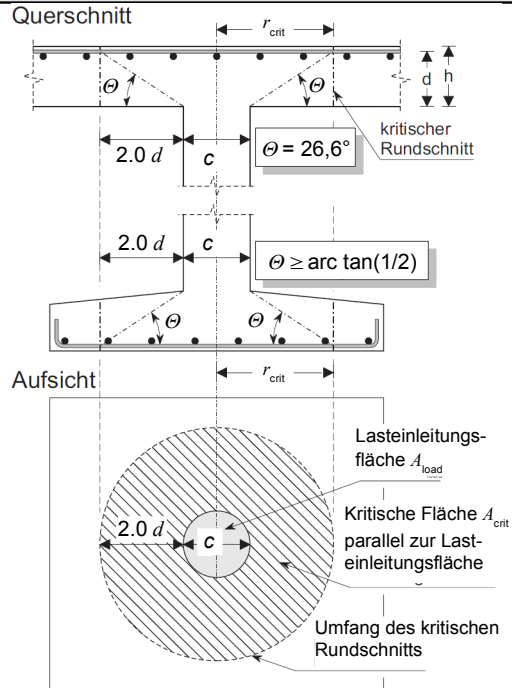
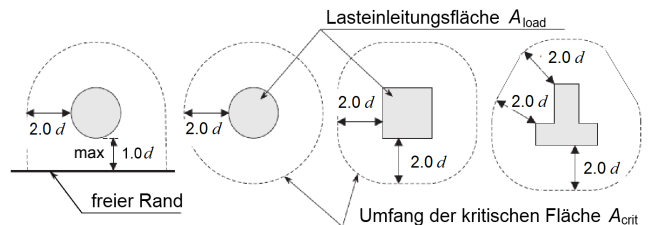
$$a / b \leq 2,0$$

mit  $d$  mittlere Nutzhöhe

$c$  Durchmesser der Lasteinleitungsfläche

$a, b$  Seitenlängen

Die **kritische Fläche**  $A_{crit}$  ist die Fläche innerhalb des kritischen Rundschnittes  $u_1$  und umgibt die Lasteinleitungsfläche  $A_{load}$  in einem Abstand von  $2,0 \cdot d$ .



### 9.2 Stützen mit abgestuften oder s5chrägen Stützenkopfverstärkungen nach DIN EN 1992-1-1, 6.4.2

#### 9.2.1 $l_H \leq 1,5 \cdot h_H$ : Nachweis nur im kritischen Rundschnitt außerhalb der Verstärkung

Lasteinleitungsfläche ist die Fläche der Stützenkopfverstärkung

Rundstützen:  $r_{cont} = 2,0 \cdot d + l_H + 0,5 \cdot c$

Rechteckstützen:  $r_{cont} = 2,0 \cdot d + 0,56 \cdot \sqrt{l_1 \cdot l_2}$

$$r_{cont} = 2,0 \cdot d + 0,69 \cdot l_1$$

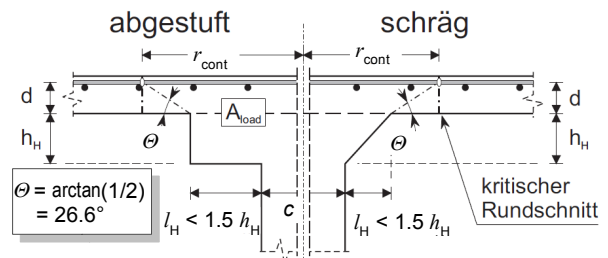
kleineres  $r_{cont}$  maßgebend

mit  $l_H$  Abstand zwischen Stützenrand und Rand der Stützenkopfverstärkung

$c$  Durchmesser einer runden Stütze

$l_1, l_2$  Seiten einer rechteckigen Stütze ( $l_1 \leq l_2$ )

\* vgl. DIN EN 1992-1-1 / NA, NCI zu 6.4.2 (8)



#### 9.2.2 $l_H \geq 2,0 \cdot h_H$ : Nachweis in kritischen Rundschnitten außer- und innerhalb der Verstärkung

Innerhalb:

$$r_{cont,int} = 2,0 \cdot (d + h_H) + 0,5 \cdot c$$

Die Lasteinleitungsfläche  $A_{load}$  ist die Fläche der Stütze

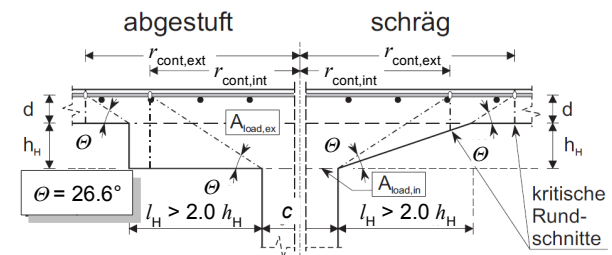
außerhalb:

$$r_{cont,ext} = 2,0 \cdot d + l_H + 0,5 \cdot c$$

Die Lasteinleitungsfläche  $A_{load}$  ist die Fläche der Stützenkopfverstärkung.

mit  $l_H$  Abstand Stützenrand vom Rand der Stützenkopfverstärkung

$c$  Durchmesser einer runden Stütze



#### 9.2.3 $1,5 \cdot h_H < l_H < 2,0 \cdot h_H$ : Nachweis in kritischen Rundschnitten außer- und innerhalb der Verstärkung

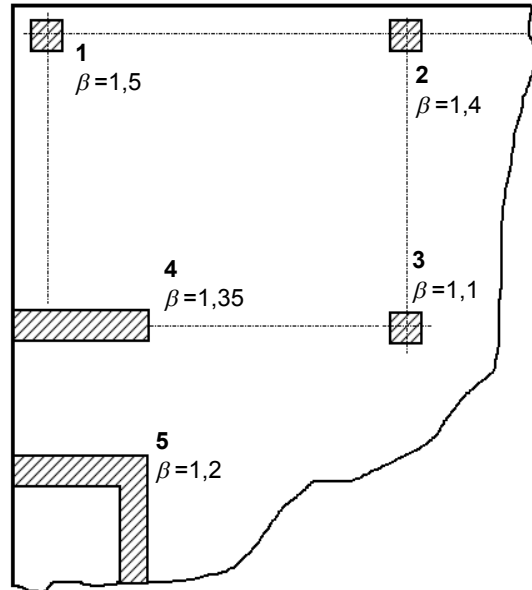
Es ist zusätzlich zu den Nachweisen nach 9.2.1 ein weiterer Nachweis im Abstand  $1,5 \cdot (d + h_H)$  vom Stützenrand zu führen. Der Durchstanzwiderstand ohne Durchstanzbewehrung  $\nu_{Rd,c}$  darf hierbei erhöht werden im Verhältnis der Rundschnittlängen  $u_{2,0d} / u_{1,5d}$ .

### 9.3 Bemessungswert der einwirkenden Querkraft $v_{Ed}$ je Längeneinheit im maßgebenden Rundschnitt (DIN EN 1992-1-1, 6.4.3)

Die **maßgebende Querkraft**  $v_{Ed}$  je Flächeneinheit im maßgebenden Rundschnitt beträgt:

$$v_{Ed} = \frac{\beta \cdot V_{Ed}}{u_i \cdot d}$$

- mit:  $d$  mittlere Nutzhöhe der Platte  $d = (d_y + d_z) / 2$   
 $u_i$  Umfang des maßgebenden Rundschnitts  
 $\beta$  Beiwert zur Berücksichtigung der Auswirkung von Momenten in der Lasteinleitungsfläche
- = 1,5 bei Eckstützen (1)
  - = 1,4 bei Randstützen (2)
  - = 1,1 bei Innenstützen (3)
  - = 1,35 bei Wandenden (4)
  - = 1,2 bei einspringenden Wandecken (5)



Beiwerte  $\beta$  für unverschiebliche Systeme mit einem Stützweitenverhältnis von  $0,8 < l_{eff,1} / l_{eff,2} < 1,25$

Andere Werte für  $\beta$  nach EC 2-1-1 Gleich. (6.39)

Keine Reduktion von  $v_{Ed}$  infolge auflagernaher Einzellasten!

Bei Fundamentplatten ist die Reduktion von  $V_{Ed}$  infolge günstig wirkender Bodenpressung möglich:  $V_{Ed,red} = V_{Ed} - \Delta V_{Ed}$   
 mit:  $\Delta V_{Ed}$  Resultierender Sohldruck im betrachteten Rundschnitt abzüglich der Fundamenteigenlast.

Die Querkraftkomponente geneigter Spannglieder  $v_{pd}$  darf als günstige Einwirkung berücksichtigt werden

### 9.4 Bemessungswert der aufnehmbaren Querkraft $v_{Rd,i}$ je Längeneinheit

Bemessungswerte einer Platte bei unterschiedlichen Versagensmechanismen:

- $v_{Rd,c}$  Durchstanzwiderstand **ohne Querkraftbewehrung** längs des kritischen Rundschnitts
- $v_{Rd,cs}$  Durchstanzwiderstand längs innerer Rundschnitte bei Versagen der Durchstanzbewehrung
- $v_{Rd,max}$  maximaler Durchstanzwiderstand längs des kritischen Rundschnitts bei Erreichen der Druckstrebenfestigkeit

### 9.5 Nachweisbedingungen

- $v_{Ed} \leq v_{Rd,c}$  keine Durchstanzbewehrung erforderlich
- $v_{Ed} > v_{Rd,c}$  Durchstanzbewehrung erforderlich mit  $v_{Ed} \leq v_{Rd,sv}$
- $v_{Ed} \leq v_{Rd,max}$  Querkrafttragfähigkeit längs des kritischen Rundschnitts bei Erreichen der Druckstrebenfestigkeit darf nicht überschritten werden, wenn  $v_{Ed} > v_{Rd,c}$

### 9.6 Platten oder Fundamente ohne Durchstanzbewehrung: $v_{Ed} \leq v_{Rd,c}$ (DIN EN 1992-1-1, 6.4.4)

Nachweis:  $v_{Ed} \leq v_{Rd,c}$

**Betonttraganteil  $v_{Rd,c}$  für Platten:**

$$v_{Rd,c} = C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp} \geq v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}$$

**Betonttraganteil  $v_{Rd,c}$  für Fundamente:**

$$v_{Rd,c} = C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} \cdot 2 \cdot d / a \geq v_{min} \cdot 2 \cdot d$$

- mit  $C_{Rd,c}$  bei Flachdecken und Bodenplatten:  $C_{Rd,c} = 0,18 / \gamma_c$   
 für Innenstützen bei Flachdecken mit  $u_0 / d < 4$   $C_{Rd,c} = 0,18 / \gamma_c \cdot (0,1 \cdot u_0 / d + 0,6)$   
 bei Fundamenten  $C_{Rd,c} = 0,15 / \gamma_c$
- $k = 1 + \sqrt{200 / d} \leq 2,0$ ;  $d$  ist in mm einzusetzen; Beiwert für den Einfluss der Bauteilhöhe
- $d$  mittlere Nutzhöhe =  $(d_x + d_y) / 2$  mit  $d_x, d_y$  Nutzhöhen der Platte in x- bzw. y-Richtung bei  $a_{crit}$
- $\rho_l = \sqrt{\rho_{lx} \cdot \rho_{ly}}$ ; Längsbewehrungsgrad  $\rho_l \leq 0,50 \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}}$  und  $\rho_l \leq 0,02$
- $\rho_{ly}, \rho_{lz}$  mittlere Bewehrungsgrade der Biegezugbewehrung in y- und z-Richtung, unter Berücksichtigung der Plattenbreite entsprechend der Stützenabmessung zuzüglich  $3 \cdot d$  und außerhalb verankert ist.
- $k_1 = 0,10$
- $\sigma_{cp} = \frac{\sigma_{c,y} + \sigma_{c,z}}{2}$  [N/mm<sup>2</sup>]; Betonnormalspannung innerhalb des kritischen Rundschnitts (Druck positiv)
- $\sigma_{c,y} = N_{Ed,y} / A_{cy}$  [N/mm<sup>2</sup>]; Betonnormalspannungen in x-Richtung
- $\sigma_{c,z} = N_{Ed,z} / A_{cz}$  [N/mm<sup>2</sup>]; Betonnormalspannungen in y-Richtung
- $N_{Ed,y}, N_{Ed,z}$  mittlere Längskraft infolge äußerer Einwirkung oder Vorspannung
- $v_{min} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2}$  für  $d \leq 600$  mm (Zwischenwerte interpolieren, vgl. EC 2-1-1/NA)  
 $= 0,025 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2}$  für  $d > 600$  mm NDP Zu 6.2.2 (2) Glg. (NA.6.3a und NA.6.3b))

## 9.7 Platten und Fundamente mit Durchstanzbewehrung: $v_{Rd,c} < v_{Ed}$ (DIN EN 1992-1-1, 6.4.5)

### 9.7.1 Nachweis: $v_{Rd,cs} \geq v_{Ed}$

#### Platten

$$v_{Rd,cs} = 0,75 \cdot v_{Rd,c} + \frac{1,5d \cdot A_{sw} / s_r \cdot f_{ywd,ef}}{u_1 \cdot d} \cdot \sin \alpha = 0,75 \cdot v_{Rd,c} + \frac{1,5(d/s_r) \cdot A_{sw} \cdot f_{ywd,ef}}{u_1 \cdot d} \cdot \sin \alpha \quad \text{in [N/mm}^2\text{]}$$

$$\text{erf } A_{sw,i} = K_i \cdot A_{sw} \quad \text{mit: } A_{sw} = \frac{u_1 \cdot d}{1,5(d/s_r) \cdot f_{ywd,ef}} (v_{Ed} - 0,75 \cdot v_{Rd,c}) / \sin \alpha$$

mit	$v_{Rd,c}$	Betontraganteil des unbewehrten Betons nach Abschnitt 9.6
	$A_{sw,i}$	Querschnittsfläche der Durchstanzbewehrung der Reihe $i$ in [mm <sup>2</sup> ]
	$K_i$	Erhöhungsfaktor der Bewehrung nach unten stehender Tabelle
	$f_{ywd,ef}$	der wirksame Bemessungswert der Streckgrenze der Durchstanzbewehrung = $250 + 0,25 \cdot d \leq f_{ywd}$ in [N/mm <sup>2</sup> ]
	$f_{ywd}$	Bemessungswert der Streckgrenze der Querkraftbewehrung mit $f_{ywd} = f_{yk} / \gamma_s$
	$d$	mittlere statische Nutzhöhe in [mm]
	$u_1$	Umfang des Rundschnitts $a = a_{crit} = 2,0 \cdot d$ in [mm]
	$s_r$	der radiale Abstand der Durchstanzbewehrungsreihen in [mm]
	$\alpha$	der Winkel zwischen Durchstanzbewehrung und Plattenebene ( $45^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$ bzw. $90^\circ$ )

Besteht die Durchstanzbewehrung nur aus Schrägstäben, so dürfen diese nur im Bereich des kritischen Rundschnitts angeordnet werden. Die Aufbiegung muss in einem Abstand  $\leq 0,3 \cdot d$  vom Stützenrand beginnen und darf nicht weiter als  $1,0 \cdot d$  vom Stützenrand enden (vgl. Heft 600, Bild H6-47)

Bei einer Reihe aufgebogener Stäbe ist für das Verhältnis  $d/s_r$  der Wert 0,53 anzusetzen (NCI zu 6.4.5 (1)). Die aufgebogene Bewehrung darf mit  $f_{ywd,ef} = f_{ywd}$  ausgenutzt werden. Achtung: bei Bügeln sind mindestens zwei Bügelreihen anzuordnen!

Die erste Bewehrungsreihe ist im Abstand  $a_1$  zwischen  $0,3 \cdot d$  bis  $0,5 \cdot d$  vom Stützenrand anzuordnen (innerer Rundschnitt). Für weitere Bewehrungsreihen ist der maximale Abstand  $s_r \leq 0,75 \cdot d$  einzuhalten.

Bewehrungsreihe $i$	Abstand $a_i$ vom Stützenrand	Durchstanzbewehrung $A_{sw,i} = K \cdot A_{sw}$
1	$a_1 = 0,3 \cdot d$ bis $0,5 \cdot d$	$2,5 \cdot A_{sw}$
2	$a_2 = a_1 + \leq 0,75 \cdot d$	$1,4 \cdot A_{sw}$
3 bis max	$a_i = 0,3 \cdot d + 0,5 \cdot d \cdot (i - 1)$	$1,0 \cdot A_{sw}$

#### Gedrungene Fundamente nach NCI zu 6.4.5 (kein Abzug eines Betontraganteils)

##### Bügelbewehrung:

$$\beta \cdot V_{Ed,red} \leq V_{Rd,s} = A_{sw,1+2} \cdot f_{ywd,ef}$$

$$\rightarrow \text{erf } A_{sw,1+2} = \beta \cdot V_{Ed,red} / f_{ywd,ef}$$

##### aufgebogene Bewehrung:

$$\beta \cdot V_{Ed,red} \leq V_{Rd,s} = 1,3 \cdot A_{sw,1+2} \cdot f_{ywd} \cdot \sin \alpha$$

$$\rightarrow \text{erf } A_{sw,1+2} = \beta \cdot V_{Ed,red} / (1,3 \cdot f_{ywd} \cdot \sin \alpha)$$

mit  $V_{Ed,red} = V_{Ed} - \Delta V_{Ed}$  dabei ist  $\Delta V_{Ed}$  der Abzugswert des Sohldrucks innerhalb der betrachteten Bewehrungsreihe

$A_{sw,1}$  Bewehrungsmenge der ersten (innersten) Bewehrungsreihe

$A_{sw,2}$  Bewehrungsmenge der zweiten Bewehrungsreihe

$\beta$  Erhöhungsfaktor der Querkraft nach Abschnitt 9.3

$\alpha$  Winkel der geneigten Durchstanzbewehrung zur Plattenebene

Bewehrungsreihe $i$	Abstand $a_i$ vom Stützenrand	Durchstanzbewehrung $A_{sw,i}$
1	$0,3 \cdot d$	$0,5 \cdot A_{sw,1+2}$
2	$0,8 \cdot d$	$0,5 \cdot A_{sw,1+2}$
3 bis max	$0,3 \cdot d + 0,5 \cdot d \cdot (i - 1)$	$0,33 \cdot A_{sw,1+2}$

### 9.7.2 Nachweis der Quertragfähigkeit am äußeren Rundschnitt $u_{out}$ (DIN EN 1992-1-1, 6.4.5 (4))

Die äußerste Bewehrungsreihe mit  $A_{sw}$  nach 9.7.1 darf maximal im Abstand von  $1,5 \cdot d$  von dem äußeren Rundschnitt  $u_{out}$  liegen (in Richtung der Stütze), mit  $u_{out} = \beta \cdot V_{Ed} / (v_{Rd,c} \cdot d)$

### 9.7.3 Nachweis am kritischen Rundschnitt: $v_{Ed,u1} \leq v_{Rd,max}$ (DIN EN 1992-1-1, 6.4.5 (3))

Maximale Querkrafttragfähigkeit bei Erreichen der Druckstrebeneffektivität

$$v_{Ed,u1} \leq v_{Rd,max} = 1,4 \cdot v_{Rd,c,u1}$$

mit  $v_{Rd,c}$  Querkrafttragfähigkeit ohne Durchstanzbewehrung im kritischen Rundschnitt.

Eine Betondrucknormalspannung  $\sigma_{cp}$  infolge Vorspannung bei  $v_{Rd,c}$  darf nicht berücksichtigt werden.

### 9.7.4 Mindestmomente

Siehe DIN EN 1992-1-1/NA, NCI zu 6.4.5 (NA.6) und Tabelle NA.6.1.1