

Die Formelsammlungen sind teilweise stark veraltet (Vorlesungsinhalte aus vergangenen Semestern, alte Normen...) und sollten lediglich als Hilfestellung zum Verfassen eigener Formelsammlungen dienen. Kontrolliert auf jeden Fall die Formeln, es haben sich auch Fehler eingeschlichen.

Grundlagen des Stahlbetonbaus I + II

Formelsammlung

Jan Höffgen

6. Januar 2014

Diese Zusammenfassung wurde auf der Basis der Bachelor-Vorlesungen
Grundlagen des Stahlbetonbaus I
und
Grundlagen des Stahlbetonbaus II
sowie der zugehörigen Übungen im WS 2012/13 bzw. SS 2013 erstellt.

Verweise in *Schneider Bautabellen für Ingenieure* beziehen sich auf die 19. Auflage.

Kein Anspruch auf Vollständigkeit oder Fehlerfreiheit.
Wer einen Fehler findet, melde ihn mir bitte.

Inhaltsverzeichnis

1	Betonfestigkeits- & Expositionsklassen	3
2	Betondeckung	5
3	Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit	5
4	Bewehrungsbemessung von Balken und Plattenbalken	6
4.1	Konstruktive Durchbildung	6
4.2	Ermittlung der statisch erforderlichen Bewehrung in Durchlaufträgern	6
4.2.1	Iterative Berechnung der Bewehrungsdehnung	8
4.2.2	Rüsch-Diagramm	8
4.2.3	ω -Verfahren	9
4.2.4	Spannungsblochverfahren	9
4.3	Ermittlung der statisch erforderlichen Bewehrung in Plattenbalken	9
4.4	Querkraftbewehrung von Balken	11
4.5	Anschlussbewehrung in Plattenbalken	13
5	Bemessung von Platten	14
5.1	Konstruktive Durchbildung	14
5.2	Ermittlung der statisch erforderlichen Bewehrung in Platten	15
5.3	Querkraftbewehrung von Platten	16
6	Bemessung von Druckgliedern	17
6.1	Konstruktive Durchbildung	17
6.2	Ermittlung der statisch erforderlichen Bewehrung in Druckgliedern	18
7	Verankerungen	18
8	Übergreifungsstöße	20
9	Verbundkraftübertragung in Fugen	22

1 Betonfestigkeits- & Expositionsklassen

Festigkeits- und Formänderungskennwerte für Beton

Betonfestigkeitsklasse															
f_{ck}	N/mm ²	12	16	20	25	30	35	40	45	50	55	60	70	80	90
$f_{ck,cube}$	N/mm ²	15	20	25	30	37	45	50	55	60	67	75	85	95	105
f_{cm}	N/mm ²	20	24	28	33	38	43	48	53	58	63	68	78	88	98
f_{ctm}	N/mm ²	1,6	1,9	2,2	2,6	2,9	3,2	3,5	3,8	4,1	4,2	4,4	4,6	4,8	5,0
$f_{ctk,0,05}$	N/mm ²	1,1	1,3	1,5	1,8	2,0	2,2	2,5	2,7	2,9	3,0	3,1	3,2	3,4	3,5
$f_{ctk,0,95}$	N/mm ²	2,0	2,5	2,9	3,3	3,8	4,2	4,6	4,9	5,3	5,5	5,7	6,0	6,3	6,6
$E_{cm} \cdot 10^{-3}$	N/mm ²	27	29	30	31	33	34	35	36	37	38	39	41	42	44
ε_{c1}	‰	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,25	2,3	2,4	2,45	2,5	2,6	2,7	2,8	2,8
ε_{cu1}	‰	3,5									3,2	3,0	2,8	2,8	2,8
ε_{c2}	‰	2,0									2,2	2,3	2,4	2,5	2,6
ε_{cu2}	‰	3,5									3,1	2,9	2,7	2,6	2,6
n		2,0									1,75	1,6	1,45	1,4	1,4
ε_{c3} (‰)	‰	1,75									1,8	1,9	2,0	2,2	2,3
ε_{cu3}	‰	3,5									3,1	2,9	2,7	2,6	2,6
Expositionsklasse nach Tabelle 4.1															
Bewehrungskorrosion															
ausgelöst durch Karbonatisierung				ausgelöst durch Chloride ausgenommen Meerwasser				ausgelöst durch Chloride aus Meerwasser							
	XC1	XC2	XC3	XC4	XD1	XD2	XD3	XS1	XS2	XS3					
Indikative Mindestfestigkeitsklasse	C16/20	C16/20	C20/25	C25/30	C30/37 a	C35/45 a oder c	C35/45 a	C30/37 a	C35/45 a oder c	C35/45 a					
Betonangriff															
Kein Angriffsrisiko		durch Frost mit und ohne Taumittel					durch chemischen Angriff der Umgebung								
	X0	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2	XA3							
Indikative Mindestfestigkeitsklasse	C12/15	C25/30	C25/30 LP ^b C35/45 ^c	C25/30 LP ^b C35/45 ^c	C30/37 LP b, d, e	C25/30	C35/45 a oder c	C35/45 ^a							
^a Bei Verwendung von Luftporenbeton, z. B. auf Grund gleichzeitiger Anforderungen aus der Expositionsklasse XF, eine Betonfestigkeitsklasse niedriger; siehe auch Fußnote 2. ^b Diese Mindestbetonfestigkeitsklassen gelten für Luftporenbeton mit Mindestanforderungen an den mittleren Luftgehalt im Frischbeton nach DIN 1045-2 unmittelbar vor dem Einbau. ^c Bei langsam und sehr langsam erhärtenden Betonen ($r < 0,30$ nach DIN EN 206-1) eine Festigkeitsklasse im Alter von 28 Tagen niedriger. Die Druckfestigkeit zur Einteilung in die geforderte Druckfestigkeitsklasse ist auch in diesem Fall an Probekörpern im Alter von 28 Tagen zu bestimmen. ^d Erdfeuchter Beton mit $w/z \leq 0,40$ auch ohne Luftporen ^e Bei Verwendung eines CEM III/B nach DIN 1045-2:2008-08, Tabelle F.3.3, Fußnote c) für Räumlaufbahnen in Beton ohne Luftporen mindestens C40/50 (hierbei gilt: $w/z \leq 0,35$, $z \geq 360$ kg/m ³).															

Klasse	Beschreibung der Umgebung	Beispiele für die Zuordnung von Expositionsklassen (informativ)
1 Kein Korrosions- oder Angriffsrisiko		
X0	Für Beton ohne Bewehrung oder eingebettetes Metall: alle Expositionsklassen, ausgenommen Frostangriff mit und ohne Taumittel, Abrieb oder chemischen Angriff Für Beton mit Bewehrung oder eingebettetem Metall: sehr trocken	Beton in Gebäuden mit sehr geringer Luftfeuchte
2 Korrosion, ausgelöst durch Karbonatisierung		
XC1	Trocken oder ständig nass	Beton in Gebäuden mit geringer Luftfeuchte Beton, der ständig in Wasser getaucht ist
XC2	Nass, selten trocken	Langzeitig wasserbenetzte Oberflächen; vielfach bei Gründungen
XC3	Mäßige Feuchte	Beton in Gebäuden mit mäßiger oder hoher Luftfeuchte; vor Regen geschützter Beton im Freien
XC4	Wechselnd nass und trocken	wasserbenetzte Oberflächen, die nicht der Klasse XC2 zuzuordnen sind
3 Bewehrungskorrosion, ausgelöst durch Chloride, ausgenommen Meerwasser		
XD1	Mäßige Feuchte	Betonoberflächen, die chloridhaltigem Sprühnebel ausgesetzt sind
XD2	Nass, selten trocken	Schwimmbäder; Beton, der chloridhaltigen Industrieab-wässern ausgesetzt ist
XD3	Wechselnd nass und trocken	Teile von Brücken, die chloridhaltigem Spritzwasser ausgesetzt sind; Fahrbahndecken; Parkdecks
4 Bewehrungskorrosion, ausgelöst durch Chloride aus Meerwasser		
XS1	Salzhaltige Luft, kein unmittelbarer Kontakt mit Meerwasser	Bauwerke in Küstennähe oder an der Küste
XS2	Unter Wasser	Teile von Meeresbauwerken
XS3	Tidebereiche, Spritzwasser- und Sprühnebelbereiche	Teile von Meeresbauwerken
5 Betonangriff durch Frost mit und ohne Taumittel		
XF1	Mäßige Wassersättigung ohne Taumittel	senkrechte Betonoberflächen, die Regen und Frost ausgesetzt sind
XF2	Mäßige Wassersättigung mit Taumittel oder Meerwasser	senkrechte Betonoberflächen von Straßenbauwerken, die taumittelhaltigem Sprühnebel ausgesetzt sind
XF3	Hohe Wassersättigung ohne Taumittel	waagerechte Betonoberflächen, die Regen und Frost ausgesetzt sind
XF4	Hohe Wassersättigung mit Taumittel oder Meerwasser	Straßendecken und Brückenplatten, die Taumitteln ausgesetzt sind; senkrechte Betonoberflächen, die taumittelhaltigen Sprühnebeln und Frost ausgesetzt sind; Spritzwasserbereich von Meeresbauwerken, die Frost ausgesetzt sind
6. Betonangriff durch chemischen Angriff der Umgebung		
XA1	Chemisch schwach angreifende Umgebung nach EN 206-1, Tabelle 2	Natürliche Böden und Grundwasser
XA2	Chemisch mäßig angreifende Umgebung und Meeresbauwerke nach EN 206-1, Tabelle 2	Natürliche Böden und Grundwasser
XA3	Chemisch stark angreifende Umgebung nach EN 206-1, Tabelle 2	Natürliche Böden und Grundwasser

2 Betondeckung

- Mindestbetondeckung $c_{\min} = \max \left\{ \begin{array}{l} c_{\min,b} \\ c_{\min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add} \\ 10mm \end{array} \right\}$

- $c_{\min,b}$: Sicherstellung der Verbundtragfähigkeit ($c_{\min,b} \geq \phi_s$ bzw. $\phi_n = \phi \cdot \sqrt{n}$ [Stabbündel])
- $c_{\min,dur}$: Sicherstellung der Dauerhaftigkeit

Dauerhaftigkeitsanforderung für $c_{\min,dur}$ mm							
Anforderungs- klasse	Expositionsklasse nach Tabelle 4.1						
	(X0)	XC1	XC2 XC3	XC4	XD1 XS1	XD2 XS2	XD3 XS3
S3 → $c_{\min,dur}$	(10)	10	20	25	30	35	40
$\Delta c_{dur,\gamma}$	0				+10	+5	0

Kriterium	Expositionsklasse nach Tabelle 4.1						
	X0 XC1	XC2	XC3	XC4	XD1 XS1	XD2 XS2	XD3 XS3
Druckfestigkeitsklasse ^a	0	≥ C25/30	≥ C30/37	≥ C35/45	≥ C40/50 ^b	≥ C45/55 ^b	≥ C45/55 ^b
	–5 mm						
^a	Es wird davon ausgegangen, dass die Druckfestigkeitsklasse und der Wasserzementwert einander zugeordnet werden dürfen.						
^b	Die geforderten Druckfestigkeitsklassen dürfen um eine Klasse reduziert werden, wenn unter Zugabe eines Luftporenbildners Poren mit einem Mindestluftgehalt nach DIN 1045-2 für XF-Klassen erzeugt werden.						

- $\Delta c_{dur,\gamma}$: zusätzlicher Sicherheitsbeiwert (s. o.)
- $\Delta c_{dur,st}$: mögliche Verringerung bei nichtrostendem Stahl (Ausnahme)
- $\Delta c_{dur,add} = 10mm$ für Expositionsklassen XD bei dauerhafter, rissüberbrückender Beschichtung, sonst $\Delta c_{dur,add} = 0mm$

- Nennmaß der Betondeckung $c_{nom} = c_{\min} + \Delta c_{dev}$
 - $\Delta c_{dev} = 10mm$ falls $c_{\min,b}$ (Verbund) maßgebend oder XC1 bei $c_{\min,dur}$
 - $\Delta c_{dev} = 15mm$ falls $c_{\min,dur}$ (Dauerhaftigkeit) maßgebend

3 Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit

- Charakteristische Kombination der Einwirkungen: $E_d = \sum_j \gamma_{G,j} G_{k,j} \oplus \gamma_P P_k \oplus \gamma_{Q,1} Q_{k,1} \oplus \sum_{i>1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$
 - $\gamma_G = 1.35$, $\gamma_Q = 1.5$ (ungünstige Auswirkungen) (S3.5)
 - $\psi_{0,Wind} = 0.6$, $\psi_{0,Schnee,<1000m} = 0.5$, $\psi_{0,Nutzlast} = 0.7$ (S3.5)
 - Grenzzustand der Gebrauchtauglichkeit: $\gamma_i = 1$
- Außergewöhnliche Kombination der Einwirkungen: $E_{d,A} = \sum_j G_{kj} \oplus P_k \oplus A_d \oplus \psi_{1,1} Q_{k,1} \oplus \sum_{i>1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$
- Bei durchlaufenden Platten und Balken darf für eine ständige Einwirkung entweder der obere oder der untere Wert γ_G in allen Feldern gleich angesetzt werden
- Die maßgebenden Querkräfte dürfen im üblichen Hochbau für Vollbelastung aller Felder ermittelt werden, wenn für das Stützweitenverhältnis benachbarter Felder $\frac{l_{eff,1}}{l_{eff,2}} < 2$ gilt.
- Bauteilwiderstand $R_d = \frac{R_k}{\gamma_M}$
 - Beton: $\gamma_M = \gamma_c = 1.5$ (ständige und vorübergehende Bemessungssituation), $\gamma_M = \gamma_c = 1.3$ (außergewöhnliche Bemessungssituation)
 - Beton- und Spannstahl: $\gamma_M = \gamma_S = 1.15$ (ständige und vorübergehende Bemessungssituation), $\gamma_M = \gamma_S = 1.0$ (außergewöhnliche Bemessungssituation)

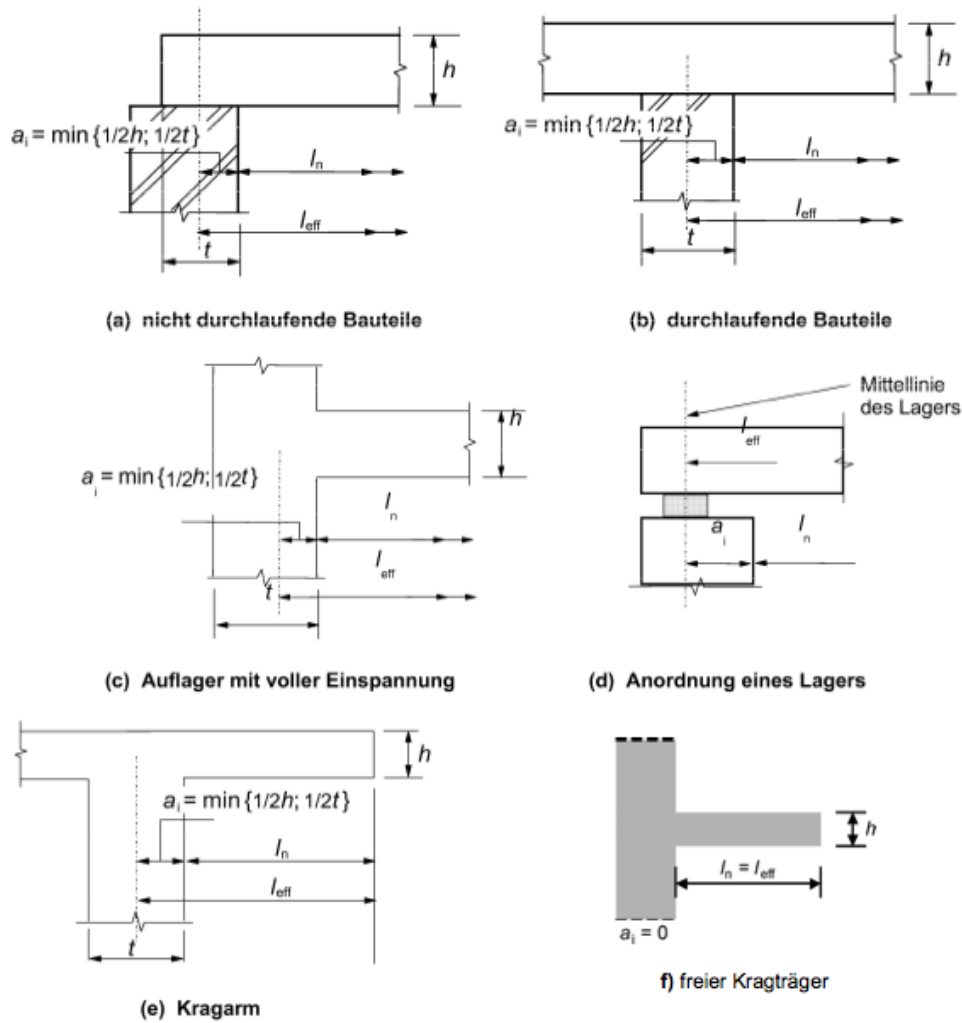
4 Bewehrungsbemessung von Balken und Plattenbalken

4.1 Konstruktive Durchbildung

- Durch die Zugbewehrung muss die Umhüllende der einwirkenden Zugkraft aufgenommen werden
 - Wirkende Querkräfte werden berücksichtigt, indem der Verlauf des Biegemoments um das Versatzmaß $a_l = \frac{z}{2} \cdot (\cot \theta - \cot \alpha)$ verschoben wird
 - * θ : Druckstrebenwinkel (siehe Abschnitt 4.4)
 - * α : Neigung der Querkraftbewehrung
- Unberücksichtigte Einspannung bei Deckenträgern
 - Allgemein Annahme, dass Deckenträger auf Wänden gelenkig aufgelagert sind \Rightarrow Vernachlässigung der Einspannungswirkung darüberliegender Wände
 - In monolithisch hergestellten Balken sind in den Außenwandauflagern Momente aus teilweiser Einspannung in Höhe von mindestens 25% des maximalen Feldmoments zu berücksichtigen (Bewehrung auf beiden Balkenseiten)
 - * Diese Bewehrung muss vom Auflagerrand gemessen mindestens über 25% des Endfelds geführt werden.
- Mindestbewehrung: Verfahren (s. u.) mit $M_{Eds} = M_{cr}$ aus $\sigma = f_{ctm} = \frac{M_{cr}}{W} + \frac{N}{A}$ durchführen
 - Plattenbalken: $W = \frac{I}{z}$ mit z : Abstand des Schwerpunkts vom Zugrand
 - Berechnung der Bewehrungsfläche $A_{s,min}$ mit M_{cr} und der charakteristischen Stahlfestigkeit $f_{y,k}$
 - Mindestbewehrung überall anordnen, wo Zugkräfte auftreten können und $M_{Ed} \leq M_{cr}$
 - Die im Feld erforderliche untere Mindestbewehrung muss bis zu den Auflagern geführt und dort mit $l_{b,min}$ verankert werden. (Kapitel 7)
 - Die im Bereich negativer Momente erforderliche obere Mindestbewehrung muss auf mindestens $1/4$ der Feldlänge angeordnet werden
 - Bei Kragarmen muss der obere Mindestbewehrung komplett durchlaufen
- Höchstbewehrung: $A_{s1} [+A_{s2}] \leq 0.08A_c$
- Bei Endauflagern ist die zusätzliche Wirkung von Querkräften zu berücksichtigen (siehe Abschnitt 7)
- Plattenbalken: Zugbewehrung höchstens auf einer Breite entsprechend $\frac{b_{eff,i}}{2}$ anordnen

4.2 Ermittlung der statisch erforderlichen Bewehrung in Durchlaufträgern

1. Ermittlung/Abschätzen der Querschnittsabmessungen b und h
2. Ermittlung der effektiven Stützweiten: $l_{eff} = l_n + a_1 + a_2$ (Balken und Platten im Hochbau)
 - l_n : lichter Abstand zwischen den Auflagerrändern

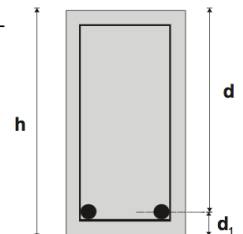


3. Superposition der Momentenverteilung aus ständigen und veränderlichen Einwirkungen \Rightarrow max. Feldmoment $M_{Ed,i}$, max. Stützmoment $M_{Ed,B}$

- Ständige Lasten: $g_d = \gamma_G \cdot \sum_i g_{k,i}$ [kN/m] (Flächenlasten über Lastenzugbreite umrechnen [S5.54])
 - Momentenverteilung aus ständigen Lasten (S4.14ff): Gleichlast über gesamten Träger
- Veränderliche Lasten: $q_d = \gamma_Q \cdot \sum_i q_{k,i}$ [kN/m] (Flächenlasten über Lastenzugbreite umrechnen)
 - Momentenverteilung aus veränderlichen Lasten (S4.14ff): Gleichlast über einzelne Felder, so dass ungünstigste Bemessungssituation entsteht

4. Bestimmung der Statischen Nutzhöhe d

- Berechnung von d_1 = Abstand vom Bauteilrand zum Schwerpunkt der Längsbewehrung
 - $d_1 = c_{nom} + \phi_{SW} + \frac{1}{2}\phi_{SL}$ (für eine Längsbewehrungslage)
- $d = h - d_1$



5. Ermittlung von Baustoffkenngrößen

- Betonfestigkeit: $f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$ (Dauerstandsfestigkeitsbeiwert $\alpha_{cc} = 0.85$)
- Stahlfestigkeit: $f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} \left[\stackrel{i.d.R.}{=} \frac{500}{1.15} = 435 \frac{N}{mm^2} \right]$

6. Ermittlung der erforderlichen Bewehrungsfläche

- Für Biegebalken ($\frac{e_d}{h} \geq 3.5$): Iterativ, Rüschi-Diagramm, ω -Verfahren oder Spannungsblockverfahren
 - $e_d = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}}$: Lastausmitte im GZ ULS
 - Für Druckstäbe: ($\frac{e_d}{h} < 3.5$): $\mu - \nu$ – Interaktionsdiagramm (Siehe Kapitel 6)
7. Erforderliche Anzahl Bewehrungsstäbe bei gegebenem Durchmesser ϕ_{SL} : $n_{erf} = \frac{A_{s1} \cdot 4}{\pi \cdot \phi_{SL}^2}$
8. Überprüfung, ob erforderliche Bewehrung (wie zunächst angenommen) in einer Lage eingebaut werden kann: $b_{erf} = 2 \cdot c_{nom} + 2 \cdot \phi_{SW} + n \cdot \phi_{SL} + (n - 1) \cdot a \stackrel{?}{\leq} b_{vorh}$
- Abstand zwischen den Bewehrungsstäben $a \geq \max\{\phi_{SL}; d_g + x; 20mm\}$
 - $x = 0mm$ für $d_g \leq 16mm$, $x = 5mm$ für $d_g > 16mm$
 - Wenn Gleichung nicht erfüllt, erneute Berechnung mit neuem d

4.2.1 Iterative Berechnung der Bewehrungsdehnung

- Erste Iteration mit: $\varepsilon_s = \varepsilon_{su} = 25\%$, $\varepsilon_c = \varepsilon_{cu} = -3.5\%$ (Zur Sicherstellung, dass Dehnungsgrenzwerte nicht überschritten werden)
1. $\zeta = \frac{x}{d} = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_c - \varepsilon_s}$ (Vorzeichen beachten)
 2.
$$\left\{ \begin{array}{ll} 0 \geq \varepsilon_c \geq -2\% : & \alpha_R = \frac{|\varepsilon_c|}{2} - \frac{\varepsilon_c^2}{12}, \quad k_a = \frac{8 - |\varepsilon_c|}{24 - 4 \cdot |\varepsilon_c^2|} \\ -2\% \geq \varepsilon_c > -3.5\% : & \alpha_R = \frac{3 \cdot |\varepsilon_c| - 2}{3 \cdot |\varepsilon_c|}, \quad k_a = \frac{|\varepsilon_c| \cdot (3 \cdot |\varepsilon_c| - 4) + 2}{2 \cdot |\varepsilon_c| \cdot (3 \cdot |\varepsilon_c| - 2)} \\ \varepsilon_c = -3.5\% : & \alpha_R = 0.81, \quad k_a = 0.416 \end{array} \right\}$$
 3. $z = (1 - \zeta \cdot k_a) \cdot d$
 4. $F_{cd} = \alpha_R \cdot \zeta \cdot f_{cd} \cdot b \cdot d$
 5. $M_{Rd} = F_{cd} \cdot z$
 6. $M_{Rd} \left\{ \begin{array}{l} \geq |M_{Ed}| \text{ Maximaldehnungen werden überschritten, anderen QS wählen} \\ = |M_{Ed}| \text{ Berechnungsende} \\ \leq |M_{Ed}| \text{ } \varepsilon_s \text{ reduzieren} \end{array} \right\}$
 - Zweite Iteration mit $\varepsilon_s = \varepsilon_{yd} = 2.175\%$, $\varepsilon_c = -3.5\%$ (Überprüfung der Wirtschaftlichkeit: Stahl soll fließen)
 7. $M_{Rd} \left\{ \begin{array}{l} \geq |M_{Ed}| \text{ } \varepsilon_s \text{ erhöhen} \\ = |M_{Ed}| \text{ Berechnungsende} \\ \leq |M_{Ed}| \text{ unwirtschaftlicher QS} \end{array} \right\}$
 8. ε_s so lange iterieren, bis $M_{Rd} = |M_{Ed}|$
 9. Ermittlung der Bewehrungsfläche über $\sum H = 0, \sum M = 0$
 - Bestimmung von F_{sd} aus F_{cd} ($F_{sd} = F_{cd}$ falls $N_{Ed} = 0$)
 - Bewehrungsfläche $A_{s1} = \frac{F_{cd}}{f_{yd}}$

4.2.2 Rüschi-Diagramm

1. Ermittlung des auf den Schwerpunkt der Zugbewehrung bezogene Bemessungsmoment: $M_{Eds} = M_{Ed} - N_{Ed} \cdot (\frac{h}{2} - d_1)$
2. Bestimmung des bezogenen Moments $\mu_{Eds} = \frac{M_{Eds}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}}$
 - b : Breite der Druckzone
3. Ablesen von ε_{s1} (und ggf. ε_{s2}) (S 5.133)
 - Wenn $\varepsilon_{s1} \leq 2.175\%$: Stahl wird nicht ausgenutzt (fließt nicht) \rightarrow Querschnitt vergrößern oder Druckbewehrung

4. Bestimmung der Stahlspannung σ_{s1} : Wenn $\varepsilon_{s1} \geq 2.175\text{‰}$, $\sigma_{s1} = f_{yd}$

5. Ablesen von $\zeta = \frac{z}{d}$ liefert z

6. Berechnung der Bewehrungsfläche

- Keine Druckbewehrung angeordnet: $A_{s1} = \frac{1}{\sigma_{s1}} \cdot \left(\frac{|M_{Ed}|}{z} + N_{Ed} \right)$
- Druckbewehrung angeordnet: $A_{s1} = \frac{1}{\sigma_{s1}} \cdot \left(\frac{M_{Eds,lim}}{z} + \frac{M_{Eds} - M_{Eds,lim}}{d - d_2} + N_{Ed} \right)$, $A_{s2} = \frac{1}{\sigma_{s2}} \cdot \frac{M_{Eds} - M_{Eds,lim}}{d - d_2}$
 mit $M_{Eds,lim} = \mu_{Eds,lim} \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd}$
 - $\mu_{Eds,lim} = 0.371$ oder Rückrechnung aus ξ
 - Für $\mu_{Eds} \leq \mu_{Eds,lim}$ Druckbewehrung nicht wirtschaftlich

7. Wenn Kraft im Beton gesucht: Ablesen von $|\nu_{cd}| = \frac{F_{cd}}{b \cdot d \cdot f_{cd}}$

4.2.3 ω -Verfahren

1. Ermittlung des auf den Schwerpunkt der Zugbewehrung bezogene Bemessungsmoment:

$$M_{Eds} = M_{Ed} - N_{Ed} \cdot \left(\frac{h}{2} - d_1 \right)$$

2. Bestimmung des bezogenen Moments $\mu_{Eds} = \frac{M_{Eds}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}}$

- b : Breite der Druckzone

3. Ablesen von ω_1 (und ggf. ω_2 , bei Druckbewehrung in Abhängigkeit von $\xi = \frac{x}{d}$) [S5.134f]

4. Berechnung der Bewehrungsfläche

- Keine Druckbewehrung angeordnet: $A_{s1} = \frac{1}{\sigma_{s1}} \cdot (\omega_1 \cdot b \cdot d \cdot f_{cd} + N_{Ed})$
- Druckbewehrung angeordnet: $A_{s1} = \frac{1}{\sigma_{s1}} \cdot (\omega_1 \cdot b \cdot d \cdot f_{cd} + N_{Ed})$, $A_{s2} = \omega_2 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}}$

4.2.4 Spannungsblockverfahren

1. Ermittlung des auf den Schwerpunkt der Zugbewehrung bezogene Bemessungsmoment:

$$M_{Eds} = M_{Ed} - N_{Ed} \cdot \left(\frac{h}{2} - d_1 \right)$$

2. Bestimmung des bezogenen Moments $\mu_{Eds} = \frac{M_{Eds}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}}$

- b : Breite der Druckzone

3. Berechnung von $\zeta = \frac{z}{d} = \frac{1}{2} \left(1 + \sqrt{1 - 2 \cdot \mu_{Eds}} \right)$

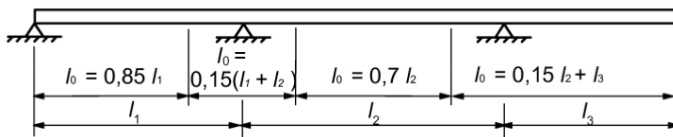
4. Berechnung der Bewehrungsfläche $A_{s1} = \frac{1}{f_{yd}} \left(\frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d} + N_{Ed} \right)$

- Berechnung der Druckzonenhöhe x mit $\xi = \frac{x}{d} \approx 2.5 \cdot (1 - \zeta)$

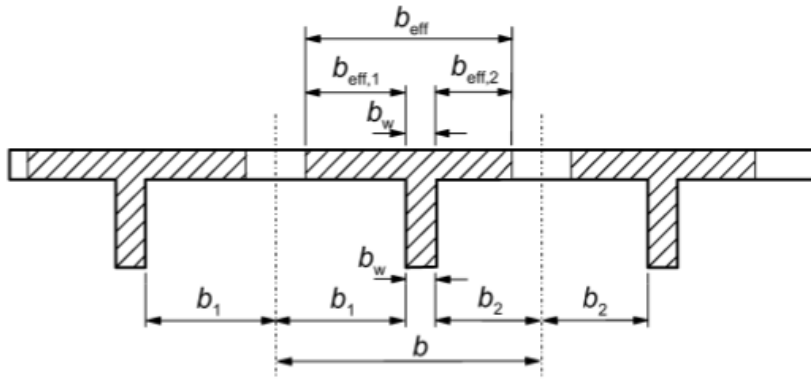
4.3 Ermittlung der statisch erforderlichen Bewehrung in Plattenbalken

1. Ermittlung der Schnittkraftverläufe und maßgebenden Bemessungsmomente/ -normalkräfte

2. Bestimmung des Abstands l_0 zwischen den Momentennullpunkten in Abhängigkeit der Lagerungsbedingungen des Plattenbalkens



3. Bestimmung der effektiven Plattenbreite für beide Seiten des Elements: $b_{eff,i} = \min \begin{cases} b_i \\ 0.2 \cdot l_0 \\ 0.2 \cdot b_i + 0.1 \cdot l_0 \end{cases}$



4. Effektive Plattenbreite: $b_{eff} = \sum_i b_{eff,i} + b_w$

5. Bestimmung der Statischen Nutzhöhe d

- Berechnung von d_1 = Abstand vom Bauteilrand zum Schwerpunkt der Längsbewehrung
 – $d_1 = c_{nom} + \phi_{SW} + \frac{1}{2}\phi_{SL}$ (für eine Längsbewehrungslage)
- $d = h - d_1$

6. Ermittlung von Baustoffkenngrößen

- Betonfestigkeit: $f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$ (Dauerstandsfestigkeitsbeiwert $\alpha_{cc} = 0.85$)
- Stahlfestigkeit: $f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_S} \left[\stackrel{i.d.R.}{=} \frac{500}{1.15} = 435 \frac{N}{mm^2} \right]$

7. Ermittlung der erforderlichen Bewehrungsfläche (ω -Verfahren)

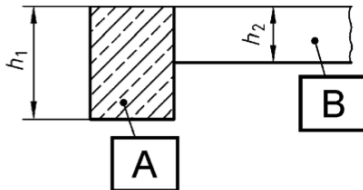
- Platte unter Zug (Moment negativ) \Rightarrow Bemessung wie Rechteckquerschnitt mit $b = b_w$
 - Ermittlung des auf den Schwerpunkt der Zugbewehrung bezogene Bemessungsmoment:
 $M_{Eds} = M_{Ed} - N_{Ed} \cdot (z_s - d_1)$
 - Bestimmung des bezogenen Moments $\mu_{Eds} = \frac{M_{Eds}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}}$
 – $b = b_w$: Breite der Druckzone
 - Ablesen von ω_1 (und ggf. ω_2 , bei Druckbewehrung in Abhängigkeit von $\xi = \frac{x}{d}$) [S5.134f]
 - Berechnung der Bewehrungsfläche
 – Keine Druckbewehrung angeordnet: $A_{s1} = \frac{1}{\sigma_{s1}} \cdot (\omega_1 \cdot b \cdot d \cdot f_{cd} + N_{Ed})$
 – Druckbewehrung angeordnet: $A_{s1} = \frac{1}{\sigma_{s1}} \cdot (\omega_1 \cdot b \cdot d \cdot f_{cd} + N_{Ed})$, $A_{s2} = \omega_2 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}}$
 - Erforderliche Anzahl Bewehrungsstäbe bei gegebenem Durchmesser ϕ_{SL} : $n_{erf} = \frac{A_{s1} \cdot 4}{\pi \cdot \phi_{SL}^2}$
 - Überprüfung, ob erforderliche Bewehrung (wie zunächst angenommen) in einer Lage eingebaut werden kann: $b_{erf} = 2 \cdot c_{nom} + 2 \cdot \phi_{SW} + n \cdot \phi_{SL} + (n - 1) \cdot a \stackrel{?}{\leq} b_{vorh}$
 – Mindestens 30% der Bewehrung müssen über dem Steg angeordnet werden, der Rest darf in die Flansche (aber nur Ausnutzung von $0.5 \cdot b_{eff,i}$)
 – Abstand zwischen den Bewehrungsstäben $a \geq \max\{\phi_{SL}; d_g + x; 20mm\}$
 – $x = 0mm$ für $d_g \leq 16mm$, $x = 5mm$ für $d_g > 16mm$
 – Wenn Gleichung nicht erfüllt, erneute Berechnung mit neuem d
- Platte unter Druck, Nulllinie in der Platte \Rightarrow Bemessung wie Rechteckquerschnitt mit $b = b_{eff}$
 - Auch Spannungsbloch anwendbar
 - (a) Ermittlung des auf den Schwerpunkt der Zugbewehrung bezogene Bemessungsmoment:
 $M_{Eds} = M_{Ed} - N_{Ed} \cdot (\frac{h}{2} - d_1)$
 - (b) Bestimmung des bezogenen Moments $\mu_{Eds} = \frac{M_{Eds}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}}$
 – $b = b_{eff}$: Breite der Druckzone

- (c) Ablesen von ω_1 (und ggf. ω_2 , bei Druckbewehrung in Abhängigkeit von $\xi = \frac{x}{d}$) [S5.134f]
- (d) Überprüfung der Annahme, dass Nulllinie in der Platte liegt:
Ablesen von $\xi = \frac{x}{d} \rightarrow x < h_f$ (h_f : Plattenhöhe)
- (e) Berechnung der Bewehrungsfläche
 - Keine Druckbewehrung angeordnet: $A_{s1} = \frac{1}{\sigma_{s1}} \cdot (\omega_1 \cdot b \cdot d \cdot f_{cd} + N_{Ed})$
 - Druckbewehrung angeordnet: $A_{s1} = \frac{1}{\sigma_{s1}} \cdot (\omega_1 \cdot b \cdot d \cdot f_{cd} + N_{Ed})$, $A_{s2} = \omega_2 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}}$
- (f) Erforderliche Anzahl Bewehrungsstäbe bei gegebenem Durchmesser ϕ_{SL} : $n_{erf} = \frac{A_{s1} \cdot 4}{\pi \cdot \phi_{SL}^2}$
- (g) Überprüfung, ob erforderliche Bewehrung (wie zunächst angenommen) in einer Lage eingebaut werden kann: $b_{erf} = 2 \cdot c_{nom} + 2 \cdot \phi_{SW} + n \cdot \phi_{SL} + (n - 1) \cdot a \stackrel{?}{\leq} b_{vorh}$
 - Abstand zwischen den Bewehrungsstäben $a \geq \max\{\phi_{SL}; d_g + x; 20mm\}$
 - $x = 0mm$ für $d_g \leq 16mm$, $x = 5mm$ für $d_g > 16mm$
 - Wenn Gleichung nicht erfüllt, erneute Berechnung mit neuem d
- Platte unter Druck \Rightarrow Bemessung mit Tabellen für Plattenbalken
 - (a) Ermittlung des auf den Schwerpunkt der Zugbewehrung bezogene Bemessungsmoment:
 $M_{Eds} = M_{Ed} - N_{Ed} \cdot (\frac{h}{2} - d_1)$
 - (b) Bestimmung des bezogenen Moments $\mu_{Eds} = \frac{M_{Eds}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}}$
 - $b = b_{eff}$: Breite der Druckzone
 - (c) Bestimmung der Verhältnisse $\frac{h_f}{d}$ und $\frac{b_{eff}}{b_w}$
 - (d) Ablesen von ω_1 (interpolieren) [S5.140ff]
 - (e) Berechnung der Bewehrungsfläche: $A_{s1} = \frac{1}{f_{yd}} \cdot (\omega_1 \cdot b \cdot d \cdot f_{cd} + N_{Ed})$
 - (f) Erforderliche Anzahl Bewehrungsstäbe bei gegebenem Durchmesser ϕ_{SL} : $n_{erf} = \frac{A_{s1} \cdot 4}{\pi \cdot \phi_{SL}^2}$
 - (g) Überprüfung, ob erforderliche Bewehrung (wie zunächst angenommen) in einer Lage eingebaut werden kann: $b_{erf} = 2 \cdot c_{nom} + 2 \cdot \phi_{SW} + n \cdot \phi_{SL} + (n - 1) \cdot a \stackrel{?}{\leq} b_{vorh}$
 - Abstand zwischen den Bewehrungsstäben $a \geq \max\{\phi_{SL}; d_g + x; 20mm\}$
 - $x = 0mm$ für $d_g \leq 16mm$, $x = 5mm$ für $d_g > 16mm$
 - Wenn Gleichung nicht erfüllt, erneute Berechnung mit neuem d

4.4 Querkraftbewehrung von Balken

1. Bemessungswert der Querkraft

- Schnittgrößen: S 4.14 f
- Abminderung nur bei direkter Lagerung



- A: stützendes Bauteil; B: gestütztes Bauteil
- direkte Lagerung, wenn $h_1 - h_2 \geq h_2$ oder B auf A aufliegt
- Gleichstreckenlast p_d
 - (a) Ermittlung der Statischen Nutzhöhe $d = h - c_{nom} - \phi_{sw} - \frac{1}{2}\phi_{sl}$ (siehe S. 7)
 - (b) Berechnung der Querkraft V_{Ed} über dem Auflager
 - (c) Berechnung der abgeminderten Querkraft $V_{Ed}^* = V_{Ed} - p_d \cdot (a_1 + d)$
- Einzellast F_d
 - (a) Ermittlung der Statischen Nutzhöhe $d = h - c_{nom} - \phi_{sw} - \frac{1}{2}\phi_{sl}$ (siehe S. 7)
 - (b) Berechnung der Querkraft V_{Ed} über dem Auflager
 - (c) Berechnung der abgeminderten Querkraft $V_{Ed}^* = V_{Ed} \cdot \beta$

- $\beta = \frac{a_v}{2 \cdot d} \leq 1$
 a_v : Abstand der Einzellast zum Auflager

2. Ermittlung von Baustoffkenngrößen

- Betonfestigkeit: $f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$ (Dauerstandsfestigkeitsbeiwert $\alpha_{cc} = 0.85$)
- Stahlfestigkeit: $f_{ywd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} \left[\stackrel{i.d.R.}{=} \frac{500}{1.15} = 435 \frac{N}{mm^2} \right]$
- Betonzugfestigkeit $f_{ctm} = 0.3 \cdot \sqrt[3]{f_{ck}^2}$

3. Druckstrebenwinkel θ

- $1.0[\theta = 40^\circ] \leq \cot \theta = \frac{1.2 + 1.4 \frac{\sigma_{cd}}{f_{cd}}}{1 - \frac{V_{Rd,cc}}{V_{Ed}^*}} \leq 3.0[\theta = 18, 43^\circ]$ (für senkrechte Querbewehrung)
 - für geneigte Querbewehrung: unterer Grenzwert 0.58
 - $\sigma_{cd} = \frac{N_{Ed}}{A_c}$: Druckspannung (positiv)
 - $f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$: Bemessungswert der Betondruckfestigkeit
 - $V_{Rd,cc} = c \cdot 0.48 \cdot \sqrt[3]{f_{ck}} \cdot (1 - 1.2 \cdot \frac{\sigma_{cd}}{f_{cd}}) \cdot b_w \cdot z$
 - * $c = 0.5$
 - * b_w : Zugzonenbreite
 - * $z = \min \left\{ \begin{array}{l} 0.9 \cdot d \\ d - 2 \cdot c_{nom} \geq d - c_{nom} - 30 \text{ mm} \end{array} \right\}$: Innerer Hebelarm
- vereinfacht: $\cot \theta = \begin{cases} 1.2 \rightarrow \theta \approx 40^\circ & \text{bei reiner Biegung und Biegung mit Längsdruckkraft} \\ 1.0 \rightarrow \theta = 45^\circ & \text{bei Biegung mit Längszugkraft} \end{cases}$

4. Nachweis der Druckstrebe

- Berechnung der maximalen Querkrafttragfähigkeit
 - vertikale Querbewehrung: $V_{Rd,max} = \frac{1}{2} \cdot \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot \nu_1 \cdot f_{cd} \cdot \sin 2\theta$
 - Um α geneigte Querbewehrung: $V_{Rd,max} = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot \nu_1 \cdot f_{cd} \cdot \frac{\cot \theta + \cot \alpha}{1 + \cot^2 \theta}$
 - * $\alpha_{cw} = 1.0$
 - * $\nu_1 = 0.75 \cdot \nu_2$
 - * $\nu_2 = 1.1 - \frac{f_{ck}}{500} \leq 1.0$ (nur für Festigkeitsklassen größer C50/60 relevant)
- Nachweis: $V_{Rd,max} \geq V_{Ed}$ (nicht abmindern)
 - Wenn Nachweis nicht eingehalten, andere Abmessungen oder Betongüte wählen

5. Nachweis der Zugstrebe (Ermittlung des statisch erforderlichen Querbewehrungsgehaltes)

- Vertikale Bügel: $a_{sw} = \frac{V_{Ed}^*}{z \cdot f_{ywd}} \cdot \tan \theta \left[\frac{m^2}{m} \right]$
- Geneigte Bügel: $a_{sw} = \frac{V_{Ed}^*}{z \cdot f_{ywd}} \cdot \frac{1}{(\cot \theta + \cot \alpha) \cdot \sin \alpha} \left[\frac{m^2}{m} \right]$

6. Konstruktive Durchbildung

(a) Rechnerische Mindestquerkraftbewehrung

- $a_{sw,min} = 0.16 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_w \cdot \sin \alpha$
- | | | | | | | |
|------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | C20/25 | C25/30 | C30/37 | C35/45 | C40/50 | C45/55 |
| ρ [%] | 0.071 | 0.082 | 0.093 | 0.103 | 0.112 | 0.121 |
- b_w [cm], ρ [%] $\rightarrow a_{sw} \left[\frac{cm^2}{m} \right]$

(b) Statisch erforderlicher Bügelabstand

- Querbewehrungsfläche: $A_{sw} = m \cdot \pi \cdot \frac{\phi^2}{4}$ für m -schnittige Querbewehrung (i.d.R. $m \geq 2$)
- Anzahl Bügel je Meter: $n = \frac{a_{sw}}{A_{sw}}$
- Bügelabstand: $s_l = \frac{1}{n}$

(c) Konstruktive Mindestquerbewehrung

- Berechnung des Querkraftausnutzungsgrads: $\frac{V_{Ed}}{V_{Rd,max}}$

- Bestimmung des maximalen Bügelabstands $s_{l,max}$

	1	2	3
	Querkraftausnutzung ^a	Beton der Festigkeitsklasse	
		≤ C50/60	> C50/60
1	$V_{Ed} \leq 0,3V_{Rd,max}$	0,7h ^b bzw. 300 mm	0,7h bzw. 200 mm
2	$0,3V_{Rd,max} < V_{Ed} \leq 0,6V_{Rd,max}$	0,5h bzw. 300 mm	0,5h bzw. 200 mm
3	$V_{Ed} > 0,6V_{Rd,max}$	0,25h bzw. 200 mm	
^a $V_{Rd,max}$ darf hier vereinfacht mit $\theta = 40^\circ$ ($\cot\theta = 1,2$) ermittelt werden.			
^b Bei Balken mit $h < 200$ mm und $V_{Ed} \leq V_{Rd,c}$ braucht der Bügelabstand nicht kleiner als 150 mm zu sein.			

- Bestimmung des maximalen Bügelschenkelabstands im Querschnitt $s_{t,max}$

	1	2	3
	Querkraftausnutzung ^a	Beton der Festigkeitsklasse	
		≤ C50/60	> C50/60
1	$V_{Ed} \leq 0,3V_{Rd,max}$	h bzw. 800 mm	h bzw. 600 mm
2	$0,3V_{Rd,max} < V_{Ed} \leq V_{Rd,max}$	h bzw. 600 mm	h bzw. 400 mm
^a $V_{Rd,max}$ darf hier vereinfacht mit $\theta = 40^\circ$ ($\cot\theta = 1,2$) ermittelt werden.			

7. Abstufung der Querkraftbewehrung

- Üblich: Mindestbewehrung (s. o.) in Feldmitte (bei Querkraftnullpunkten), statisch erforderliche Bewehrung an Auflagern
- Rückrechnung der Querkrafttragfähigkeit der Mindestquerkraftbewehrung:
 $s_{l,min} \rightarrow n_{min} \rightarrow a_{sw,min} \rightarrow V_{Ed,min}^*$
- Bestimmung des Bereichs der Mindestquerkraftbewehrung über Strahlensatz als Abstände vom Querkraftnullpunkt: $\frac{x}{V_{Ed,min}^*} = \frac{a}{V_{Ed,Auflager}}$
 - a: Abstand des Querkraftnullpunkts vom Auflager

4.5 Anschlussbewehrung in Plattenbalken

- Ermittlung der erforderlichen Anschlussbewehrung jeweils im maßgebenden Bereich im Druck- und Zuggurt
- Unterteilung des Momentenverlaufs in etwa gleich große Teilstücke
 - Breite der Teilstücke Δx , wobei Δx nicht größer als der halbe Abstand zwischen Momentennullpunkt und -maximum ein darf
 - Berechnung der konstanten Momentenänderung je Teilstück als Querkraft in Teilstückmitte:
 $\Delta F_d = \frac{\Delta x}{z} \cdot V \left(\frac{2n-1}{2} \cdot \Delta x \right) = \frac{\Delta M}{z}$
 - $z \approx 0,9 \cdot d$, falls keine Bügelbewehrung angeordnet
 - Maßgebende Schubkraft: $\nu_{Ed} = \frac{\Delta F_d}{h_f \cdot \Delta x} \left[= \frac{\Delta M}{h_f \cdot \Delta x \cdot z} = \frac{V_{Ed}}{h_f \cdot z} \right]$
 - h_f : Gurtdicke im Anschluss
 - Abminderung der Schubkraft um $\frac{b_{eff,i}}{b_{eff}}$ in Druckgurten und $\frac{A_{ca}}{A_{cc}}$ in Zuggurten (A_{ca} : ausgelagerte Längsbewehrung in einem Gurtteil, A_{cc} : gesamte Längsbewehrung)
 - Nachweis der Druckstreben­tragfähigkeit: $\nu_{Rd} = \nu \cdot f_{cd} \cdot \frac{1}{2} \sin(2 \cdot \theta_f) \geq \nu_{Ed}$
 - Zuggurt: $\theta_f \approx 45^\circ$
 - Druckgurt: $\theta_f \approx 40^\circ$
 - $\nu = 0,75$
 - Keine Bewehrung erforderlich, wenn $\nu_{Ed} \leq 0,4 \cdot f_{ctd}$

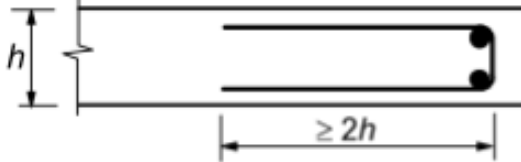
- $f_{ctd} = \alpha_{ct} \cdot \frac{f_{ctk}}{\gamma_C}$
6. Erforderliche Anschlussbewehrung: $a_{sf} = \frac{v_{Ed} \cdot h_f}{f_{yd} \cdot \cot \theta_f}$
- Empfehlung: jeweils die Hälfte der erf. Anschlussbewehrung oben und unten um Gurt anordnen
 - Wenn Plattenbiegebewehrung größer als Anschlussbewehrung, kann auf Anschlussbewehrung verzichtet werden
7. Wenn Querkraftbewehrung in der Gurtplatte erforderlich wird: Interaktionsnachweis der Druckstrebe:
- $$\left(\frac{V_{Ed}}{V_{Rd,max}} \right)_{Platte} + \left(\frac{V_{Ed}}{V_{Rd,max}} \right)_{Scheibe} \leq 1.0$$

5 Bemessung von Platten

5.1 Konstruktive Durchbildung

- Mindestabmessungen
 - Vollplatte aus Ortbeton: $h \geq 7cm$
 - Mit aufgebogener Querkraftbewehrung: $h \geq 16cm$
 - Mit Querkraftbewehrung (Bügel) oder Durchstanzbewehrung: $h \geq 20cm$
- Bewehrungsmindestdurchmesser: $\phi \geq 5mm$
- Mindest- und Höchstbewehrung analog zu Balken
- Bewehrung in der minderbeanspruchten Richtung: mindestens 20% der Hauptbewehrung
- Querkraftbewehrung
 - Bauteile mit $\frac{b}{h} < 4$ sind als Balken zu behandeln (siehe Abschnitt 4.4)
 - Für $\frac{b}{h} > 5$ und keine statische QKB erforderlich: keine Mindestquerkraftbewehrung vorgeschrieben
 - Für $\frac{b}{h} > 5$ und statische QKB erforderlich: Mindestquerkraftbewehrung gleich dem 0.6-fachen Wert der Mindestbewehrung von Balken
 - Für $4 \leq \frac{b}{h} \leq 5$: Interpolation
- Maximale Stababstände
 - Für die Haupt(=Zug-)bewehrung
 - * $s_{max,slabs} = 250mm$ für Plattendicken $h \geq 250mm$
 - * $s_{max,slabs} = 150mm$ für Plattendicken $h \leq 150mm$
 - * Zwischenwerte interpolieren
 - Bewehrung in der minderbeanspruchten Richtung, Querbewehrung
 - * $s_{max,slabs} = 250mm$
 - Querkraftbewehrung (Bügel)
 - * $V_{Ed} \leq 0.30 \cdot V_{Rd,max} : s_{max} = 0.7 \cdot h$
 - * $0.30 \cdot V_{Rd,max} \leq V_{Ed} \leq 0.60 \cdot V_{Rd,max} : s_{max} = 0.5 \cdot h$
 - * $V_{Ed} > 0.60 \cdot V_{Rd,max} : s_{max} = 0.25 \cdot h$
 - * größter Querabstand von Bügeln: $s_{max} = h$
- Verankerungen an Auflagern: $a_{s,Auflager} = \max \left\{ \begin{array}{l} a_{s,min} \\ \frac{1}{2} \cdot a_{s,Feld} \\ a_{sv} = \frac{F_{sd}}{f_{yd}} = \frac{1}{f_{yd}} \cdot (V_{Ed} \cdot \frac{a_l}{z} + N_{Ed}) \geq \frac{1}{2} \cdot \frac{V_{Ed}}{f_{yd}} \end{array} \right.$
 - Versatzmaß $a_l = d$
 - Innerer Hebelarm $z = \min \left\{ \begin{array}{l} 0.9 \cdot d \\ d - 2 \cdot c_{nom} \geq d - c_{nom} - 30 \text{ mm} \end{array} \right\}$

- Diese Bewehrung muss vom Auflagerstand gemessen über mindestens 20% des Endfeldes eingelegt werden.
- Mindestens 25% der Feldbewehrung sind an Auflagern durch obere, konstruktive Bewehrung abzudecken, bei Endauflagern 15%.
- Randbewehrung an freien Rändern von Platten
 - Anordnung der Längs- und Querbewehrung



- Bei Fundamenten und innen liegenden Bauteilen des üblichen Hochbaus muss diese Bewehrung nicht angeordnet werden

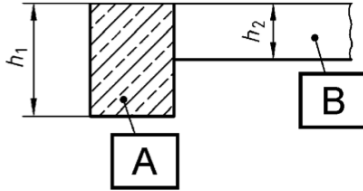
5.2 Ermittlung der statisch erforderlichen Bewehrung in Platten

1. Berechnung der maßgebenden Schnittgrößen n_{Ed} , $\max m_f$, $\max m_s$ bezogen auf 1m Plattenbreite (daher Kleinbuchstaben)
2. Berechnung des Rissmoments: $m_{cr} = W_y \cdot f_{ctm} = \frac{1.0 \cdot h^2}{6} \cdot f_{ctm}$
 - Wenn $m_{Ed} < m_{cr}$: Mindestbewehrung mit m_{cr} maßgebend, sonst Berechnung
3. Bestimmung der Statischen Nutzhöhe d
 - Berechnung von d_1 = Abstand vom Bauteilrand zum Schwerpunkt der Längsbewehrung
 - $d_1 = c_{nom} + \phi_{SW} + \frac{1}{2}\phi_{SL}$ (für eine Längsbewehrungslage)
 - $d = h - d_1$
4. Ermittlung von Baustoffkenngrößen
 - Betonfestigkeit: $f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$ (Dauerstandsfestigkeitsbeiwert $\alpha_{cc} = 0.85$)
 - Stahlfestigkeit: $f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} \left[\stackrel{i.d.R.}{=} \frac{500}{1.15} = 435 \frac{N}{mm^2} \right]$
5. Ermittlung des auf den Schwerpunkt der Zugbewehrung bezogene Bemessungsmoment: $m_{Eds} = m_{Ed} - n_{Ed} \cdot \left(\frac{h}{2} - d_1 \right)$
6. Bestimmung des bezogenen Moments $\mu_{Eds} = \frac{m_{Eds}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}}$
 - $b = 1.0m$: Breite der Druckzone
 - $m_{Eds} \left[\frac{Nm}{m} \right]$, $d [mm]$, $f_{cd} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$
7. Ablesen von ω_1 (und ggf. ω_2 , bei Druckbewehrung in Abhängigkeit von $\xi = \frac{x}{d}$) [S5.134f]
8. Berechnung der Bewehrungsfläche
 - Keine Druckbewehrung angeordnet: $a_{s1} = \frac{1}{\sigma_{s1}} \cdot (\omega_1 \cdot b \cdot d \cdot f_{cd} + n_{Ed})$
 - Druckbewehrung angeordnet: $a_{s1} = \frac{1}{\sigma_{s1}} \cdot (\omega_1 \cdot b \cdot d \cdot f_{cd} + n_{Ed})$, $a_{s2} = \omega_2 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}}$
- Alternativ: Spannungsblock: $\zeta = \frac{1}{2} (1 + \sqrt{1 - 2 \cdot \mu_{Eds}}) \rightarrow a_{s1} = \frac{1}{f_{yd}} \left(\frac{m_{Ed}}{\zeta \cdot d} + n_{Ed} \right)$
9. Erforderliche Anzahl Bewehrungsstäbe bei gegebenem Durchmesser ϕ_{SL} : $n_{erf} = \frac{a_{s1} \cdot 4}{\pi \cdot \phi_{SL}^2}$
10. Rückrechnung der Stababstände

5.3 Querkraftbewehrung von Platten

1. Bemessungswert der Querkraft

- Schnittgrößen: S 4.14 f
- Abminderung nur bei direkter Lagerung



- A: stützendes Bauteil; B: gestütztes Bauteil
- direkte Lagerung, wenn $h_1 - h_2 \geq h_2$ oder B auf A aufliegt
- Gleichstreckenlast p_d
 - (a) Ermittlung der Statischen Nutzhöhe $d = h - c_{nom} - \phi_{sw} - \frac{1}{2}\phi_{sl}$ (siehe S. 7)
 - (b) Berechnung der Querkraft V_{Ed} über dem Auflager
 - (c) Berechnung der abgeminderten Querkraft $V_{Ed}^* = V_{Ed} - p_d \cdot (a_1 + d)$
- Einzellast F_d
 - (a) Ermittlung der Statischen Nutzhöhe $d = h - c_{nom} - \phi_{sw} - \frac{1}{2}\phi_{sl}$ (siehe S. 7)
 - (b) Berechnung der Querkraft V_{Ed} über dem Auflager
 - (c) Berechnung der abgeminderten Querkraft $V_{Ed}^* = V_{Ed} \cdot \beta$
 - $\beta = \frac{a_v}{2 \cdot d} \leq 1$
 - a_v : Abstand der Einzellast zum Auflager

2. Ermittlung von Baustoffkenngrößen

- Betonfestigkeit: $f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$ (Dauerstandsfestigkeitsbeiwert $\alpha_{cc} = 0.85$)
- Stahlfestigkeit: $f_{ywd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} \left[\stackrel{i.d.R.}{=} \frac{500}{1.15} = 435 \frac{N}{mm^2} \right]$
- Betonzugfestigkeit $f_{ctm} = 0.3 \cdot \sqrt{f_{ck}^2}$

3. Bestimmung der Querkrafttragfähigkeit des unbewehrten Bauteils

- (a) Mindestquerkrafttragfähigkeit: $V_{Rd,c} = (\nu_{min} + 0.12 \cdot \sigma_{cd}) \cdot b_w \cdot d$

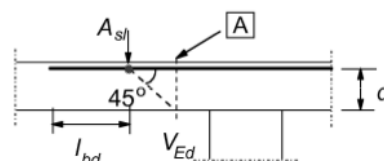
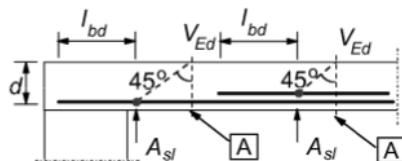
- $\nu_{min} = \frac{\kappa_1}{\gamma_c} \cdot \sqrt{k^3 \cdot f_{ck}}$
 - $\kappa_1 = \begin{cases} 0.0525 & \text{für } d \leq 600 \\ 0.0375 & \text{für } d \geq 800 \end{cases}$
 - $k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2$, d in mm
- $\sigma_{cd} = \frac{N_{Ed}}{A_c}$ (berücksichtigt äußere Normalkraft, Druck positiv)

- (b) Wo $V_{Rd,c} \geq V_{Ed}$, muss keine Querkraftbewehrung angeordnet werden.

- (c) Wenn $V_{Rd,c} < V_{Ed}$, ausführliche Berechnung der Querkrafttragfähigkeit:

$$V_{Rd,c} = (C_{Rd,c} \cdot k \cdot \sqrt[3]{100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck}} + 0.12 \cdot \sigma_{cd}) \cdot b_w \cdot d$$

- $C_{Rd,c} = \frac{0.15}{\gamma_c}$
- $\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w \cdot d}$: Längsbewehrungsgrad
 - Für A_{sl} darf nur die um das Maß $l_{bd} + d$ über den betrachteten Querschnitt hinaus verankerte Bügelbewehrung angesetzt werden



(d) Wenn $V_{Rd,c} \geq V_{Ed}$, muss keine Querkraftbewehrung angeordnet werden (für jede relevante Stelle zu überprüfen).

- Anstatt Querkraftbewehrung anzuordnen (Vorgehen s. u.), ist es sinnvoller, die Betongüte, den Längsbewehrungsgrad oder die Plattendicke zu erhöhen.

4. Druckstrebenwinkel θ

- $1.0 \leq \cot \theta = \frac{1.2 + 1.4 \frac{\sigma_{cd}}{f_{cd}}}{1 - \frac{V_{Rd,cc}}{V_{Ed}}} \leq 3.0$ (für senkrechte Querbewehrung)
 - für geneigte Querbewehrung: unterer Grenzwert 0.58
 - $\sigma_{cd} = \frac{N_{Ed}}{A_c}$: Druckspannung (positiv)
 - $f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$: Bemessungswert der Betondruckfestigkeit
 - $V_{Rd,cc} = c \cdot 0.48 \cdot \sqrt[3]{f_{ck}} \cdot (1 - 1.2 \cdot \frac{\sigma_{cd}}{f_{cd}}) \cdot b_w \cdot z$
 - * $c = 0.5$
 - * b_w : Zugzonenbreite
 - * $z = \min \left\{ \begin{array}{l} 0.9 \cdot d \\ d - 2 \cdot c_{nom} \geq d - c_{nom} - 30 \text{ mm} \end{array} \right\}$: Innerer Hebelarm
- vereinfacht: $\cot \theta = \begin{cases} 1.2 \rightarrow \theta \approx 40^\circ & \text{bei reiner Biegung und Biegung mit Längsdruckkraft} \\ 1.0 \rightarrow \theta = 45^\circ & \text{bei Biegung mit Längszugkraft} \end{cases}$

5. Nachweis der Druckstrebe

- Berechnung der maximalen Querkrafttragfähigkeit
 - vertikale Querbewehrung: $V_{Rd,max} = \frac{1}{2} \cdot \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot \nu_1 \cdot f_{cd} \cdot \sin 2\theta$
 - Um α geneigte Querbewehrung: $V_{Rd,max} = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot \nu_1 \cdot f_{cd} \cdot \frac{\cot \theta + \cot \alpha}{1 + \cot^2 \theta}$
 - * $\alpha_{cw} = 1.0$
 - * $\nu_1 = 0.75 \cdot \nu_2$
 - * $\nu_2 = 1.1 - \frac{f_{ck}}{500} \leq 1.0$ (nur für Festigkeitsklassen größer C50/60 relevant)
- Nachweis: $V_{Rd,max} \geq V_{Ed}$ (nicht abmindern)
 - Wenn Nachweis nicht eingehalten, andere Abmessungen oder Betongüte wählen

6. Nachweis der Zugstrebe (Ermittlung des statisch erforderlichen Querbewehrungsgehaltes)

- Vertikale Bügel: $a_{sw} = \frac{V_{Ed}^*}{z \cdot f_{ywd}} \cdot \tan \theta \left[\frac{\text{m}^2}{\text{m}} \right]$
- Geneigte Bügel: $a_{sw} = \frac{V_{Ed}^*}{z \cdot f_{ywd}} \cdot \frac{1}{(\cot \theta + \cot \alpha) \cdot \sin \alpha} \left[\frac{\text{m}^2}{\text{m}} \right]$

7. Statisch erforderlicher Bewehrungsabstand

- Querbewehrungsfläche: $A_{sw} = \pi \cdot \frac{\phi^2}{4}$
- Anzahl Stäbe je Meter: $n = \frac{a_{sw}}{A_{sw}}$
- Bügelabstand: $s_l = \frac{1}{n}$

6 Bemessung von Druckgliedern

6.1 Konstruktive Durchbildung

- Mindestquerschnittsabmessungen
 - Ortbeton: $\{b; h\} \geq 20 \text{ cm}$
 - Fertigteil: $\{b; h\} \geq 12 \text{ cm}$
- Längsbewehrung
 - Mindestdurchmesser: $\phi_{sl} \geq 12 \text{ mm}$
 - Mindestanzahl: 1 Stab je Ecke (6 Stäbe bei Kreisquerschnitten)

- Höchstabstand: 30cm (40cm bei $\{b; h\} \leq 40\text{cm}$)
- Bügelbewehrung
 - Mindestdurchmesser: $\phi_{sw} \geq \min\{6\text{mm}; \frac{\phi_{sl}}{4}\}$
 - Höchstabstände: $a \leq \min\{12 \cdot \phi_{sl}; b; h; 30\text{cm}\}$
 - * Für die Längsbewehrung erforderliche Zwischenbügel dürfen maximal den doppelten Höchstabstand haben
 - * Über und unter Balken und Platten sind diese Abstände mit 0.6 zu multiplizieren
- Mindestbewehrung: $A_{s,min} \geq 0.15 \frac{N_{Ed}}{f_{yd}}$
- Höchstbewehrung: $A_{s,max} \leq 0.09 \cdot A_c$ (auch bei Stößen)

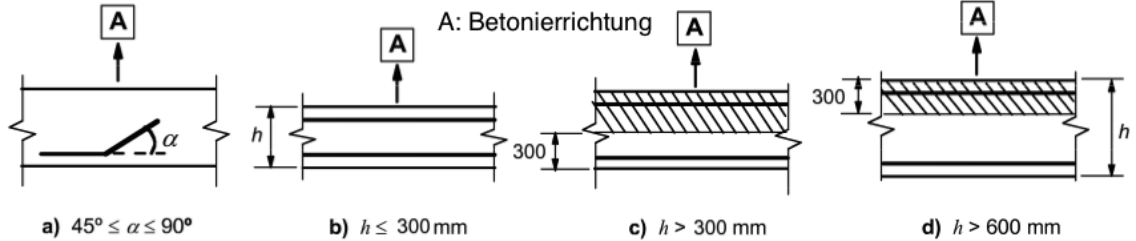
6.2 Ermittlung der statisch erforderlichen Bewehrung in Druckgliedern

- Druckglied: $\frac{e_d}{h} < 3.5$
- 1. Ermittlung der Einwirkungen
- 2. Bestimmung der Statischen Nutzhöhe d
 - Berechnung von $d_1 =$ Abstand vom Bauteilrand zum Schwerpunkt der Längsbewehrung
 - $d_1 = c_{nom} + \phi_{sw} + \frac{1}{2}\phi_{sl}$ (für eine Längsbewehrungslage)
 - $d = h - d_1$
- 3. Ermittlung von Baustoffkenngrößen
 - Betonfestigkeit: $f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$ (Dauerstandsfestigkeitsbeiwert $\alpha_{cc} = 0.85$)
 - Stahlfestigkeit: $f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} \left[\overset{i.d.R.}{=} \frac{500}{1.15} = 435 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right]$
- 4. Berechnung des bezogenen Bemessungsmoments: $\mu_{Ed} = \frac{|M_{Ed}|}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}}$ (Normalkräfte nicht berücksichtigen)
- 5. Berechnung der bezogenen Normalkraft: $\nu_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{b \cdot h \cdot f_{cd}}$ (Druck negativ)
- 6. Bestimmung des Verhältnisses $\frac{d_1}{h}$
- 7. Ablesen von ω_{tot} aus dem Momenten-Normalkraft-Interaktionsdiagramm für $\frac{d_1}{h}$ und Bewehrungsanordnung [S5.144ff]
- 8. Berechnung von $A_{s,tot} = \omega_{tot} \cdot b \cdot h \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}}$
- 9. Wegen symmetrischer Bewehrungsanordnung gleichmäßige Aufteilung von $A_{s,tot}$ auf die i Seiten mit Bewehrung ($i = \{2; 4\}$)

7 Verankerungen

1. Ermittlung der zu verankernden Biegelängsbewehrung
 - Bewehrung am Endauflager: $A_{sv} = \max \left\{ \begin{array}{l} A_{s,min} \\ \frac{F_{Ed}}{f_{yd}} \text{ mit } F_{Ed} = \frac{1}{2} \cdot |V_{Ed}^*| \cdot (\cot \theta - \cot \alpha) + N_{Ed} \geq \frac{1}{2} \cdot V_{Ed}^* \\ 0.25 \cdot A_{sf} \end{array} \right.$
 - Untere Bewehrung am Zwischenauflager: $A_{sv} = \max \left\{ \begin{array}{l} A_{s,min} \\ 0.25 \cdot A_{sf} \end{array} \right.$
 - I. d. R. reicht es aus, Bewehrung an Zwischenauflagern mit $l_{bd} = 6 \cdot \phi$ ab Auflagerrand zu verankern.
2. Ermittlung der Verbundspannung $f_{bd} = \frac{F}{u \cdot l_v} \approx 2.25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd}$ [S. 44]
 - Bemessungswert der Betonzugfestigkeit $f_{ctd} = \alpha_{ct} \cdot \frac{f_{ctk,0.05}}{\gamma_c}$

- α_{ct} : Beiwert für Langzeiteinwirkungen (hier: $\alpha_{ct} = 1.0$)
 - $f_{ctk,0.05} = 0.7 \cdot f_{ctm}$: 5%-Quantilwert der Betonzugfestigkeit
 - $\gamma_c = 1.5$: Teilsicherheitsbeiwert für Beton
 - Berücksichtigung der Verbundbedingungen und Lage der Bewehrung: [S. 56]
- $$\eta_1 = \begin{cases} 1.0 & \text{für gute Verbundbedingungen (Bilder a, b; c, d Stab im unschraffierten Bereich)} \\ 0.7 & \text{für schlechte Verbundbedingungen (Bilder c, d, Stab im schraffierten Bereich)} \end{cases}$$



- Berücksichtigung des Stabdurchmessers: $\eta_2 = \min\left\{\frac{132-\phi_s}{100}; 1.0\right\}$

3. Grundwert der Verankerungslänge: $l_{b,rqd} = \frac{\phi_s}{4} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{bd}}$ (für gerade Stäbe und gute Verbundbed.) [S. 57ff]

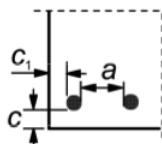
- Betonstahlfestigkeit $f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s}$ mit $\gamma_s = 1.15$ ($f_{yd} = 435 \frac{N}{mm^2}$ für B500)

4. Bemessungswert der Verankerungslänge: $l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,rqd} \cdot \frac{A_{erf}}{A_{vorh}} \geq l_{b,min}$

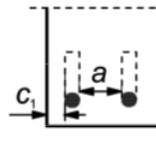
Einflussfaktor	Verankerungsart	Bewehrungsstab	
		unter Zug	unter Druck
Form der Stäbe	gerade	$\alpha_1 = 1,0$	$\alpha_1 = 1,0$
	gebogen (siehe Bild 8.1 (b), (c) und (d))	$\alpha_1 = 0,7$ für $c_d > 3\phi$ andernfalls $\alpha_1 = 1,0$ (siehe Bild 8.3 für c_d)	$\alpha_1 = 1,0$
Betondeckung	alle Arten	$\alpha_2 = 1,0$	$\alpha_2 = 1,0$
nicht an die Hauptbewehrung angeschweißte Querbewehrung	alle Arten	$\alpha_3 = 1 - K \cdot \lambda$ $\geq 0,7$ $\leq 1,0$	$\alpha_3 = 1,0$
angeschweißte Querbewehrung ¹⁾	alle Arten, Positionen und Größen sind in Bild 8.1 (e) angegeben	$\alpha_4 = 0,7$	$\alpha_4 = 0,7$
Querdruck	alle Arten	$\alpha_5 = 1 - 0,04p$ $\approx \frac{2}{3}$ bei direkter Lagerung $\geq 0,7$ $\leq 1,0$	—

Dabei ist
 $\lambda = (\Sigma A_{st} - \Sigma A_{st,min}) / A_s$;
 ΣA_{st} die Querschnittsfläche der Querbewehrung innerhalb der Verankerungslänge l_{bd} ;
 $\Sigma A_{st,min}$ die Querschnittsfläche der Mindestquerbewehrung:
 $\Sigma A_{st,min} = 0,25A_s$ für Balken und $\Sigma A_{st,min} = 0$ für Platten;
 A_s die Querschnittsfläche des größten einzelnen verankerten Stabs;
 K der Wert nach Bild 8.4;
 p der Querdruck [N/mm²] im Grenzzustand der Tragfähigkeit innerhalb l_{bd} .

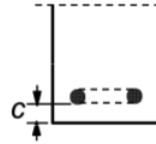
¹⁾ Siehe auch 8.6: Bei direkter Lagerung darf l_{bd} auch geringer als $l_{b,min}$ angesetzt werden, wenn mindestens ein Querstab innerhalb der Auflagerung angeschweißt ist. Dieser sollte mindestens 15 mm vom Lageranschnitt entfernt sein.



a) Gerade Stäbe
 $c_d = \min(a/2, c_1)(NA)$
 $c_d = \min(a/2, c_1, c)$



b) (Winkel) Haken
 $c_d = \min(a/2, c_1)$

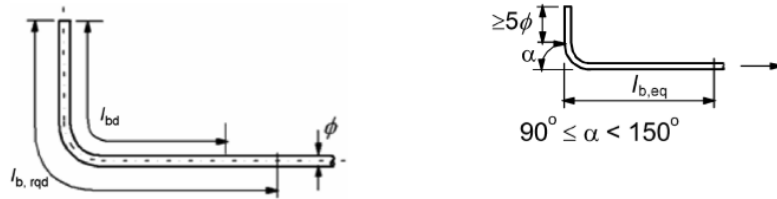


c) Schlaufen
 $c_d = c$

- Druckverankerung mit gebogenen Stäben in Deutschland nicht erlaubt wegen Ausknicken, maximale Abbiegung: $5 \cdot \phi_s$

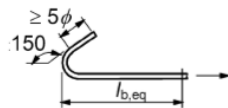
- Mindestwert der Verankerungslänge:

$$l_{b,min} = \max \left\{ \begin{array}{ll} 0.3 \cdot l_{b,rqd}; 10 \cdot \phi_s & \text{bei Verankerungen mit geraden Stäben unter Zug} \\ 0.6 \cdot l_{b,rqd}; 6.7 \cdot \phi_s; 10 \text{ cm} & \text{bei Verankerungen mit geraden Stäben unter Druck} \end{array} \right\}$$
 - Bei Zugverankerungen dürfen auch α_1 und α_4 berücksichtigt werden
 - Verankerungen mit gebogenen Stäben: $l_{b,min}$ = Biegerollendurchmesser (für Haken und Winkelhaken mit mind. 16mm Stabdurchmesser) bzw. doppelter Biegerollendurchmesser (sonst)
- Untere Bewehrung an Zwischenauflagern: Verankerung mit $l_{bd} = l_{b,min} + a_l$
 - $a_l = \frac{z}{2} (\cot \theta - \cot \alpha)$
- Vorgehen: zunächst versuchen, mit einem geraden Stab zu verankern (einfacher), danach gegebenenfalls Umbiegungen prüfen oder Bewehrung in beiden verankerten Bauteilen führen

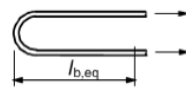


a) Basiswert der Verankerungslänge $l_{b,rqd}$, für alle Verankerungsarten, gemessen entlang der Mittellinie

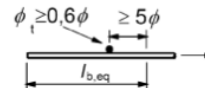
b) Ersatzverankerungslänge für normalen Winkelhaken



c) Ersatzverankerungslänge für normalen Haken



d) Ersatzverankerungslänge für normale Schlaufe



e) Ersatzverankerungslänge für angeschweißten Querstab

- Mindest-Biegerollendurchmesser für Stäbe

Mindestwerte der Biegerollendurchmesser für Haken, Winkelhaken, Schlaufen, Bügel		Mindestwerte der Biegerollendurchmesser für Schrägstäbe oder andere gebogene Stäbe		
Stabdurchmesser mm		Mindestwerte der Betondeckung rechtwinklig zur Biegeebene		
$\phi < 20$	$\phi \geq 20$	$> 100 \text{ mm}$ und $> 7\phi$	$> 50 \text{ mm}$ und $> 3\phi$	$\leq 50 \text{ mm}$ oder $\leq 3\phi$
4ϕ	7ϕ	10ϕ	15ϕ	20ϕ

8 Übergreifungsstöße

- Lichter Abstand zwischen parallelen Stäben: $a \geq \max\{k_1 \cdot \phi_s; d_g + k_2; 20\text{mm}\}$
 - $k_1 = 1$; $k_2 = 0$ für $d_g \leq 16\text{mm}$, $k_2 = 5$ für $d_g > 16\text{mm}$, (d_g : Durchmesser des Größtkorns)
 - Gestoßene Stäbe dürfen sich innerhalb der Übergreifungslänge berühren
- Bewehrungsstöße [S. 67ff]
 - erforderlich bei Arbeitsfugen und zur Verlängerung der Bewehrung
 - indirekte Stöße durch Übergreifung der Bewehrungsstäbe
 - direkte Stöße durch Schraubmuffen oder Schweißen (teurer)
 - Stöße sollen an Stellen geringer Beanspruchung und versetzt angeordnet werden

- Bemessungswert der Übergreifungslänge: $l_0 = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_5 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd} \geq l_{0,min}$ [S. 72ff]

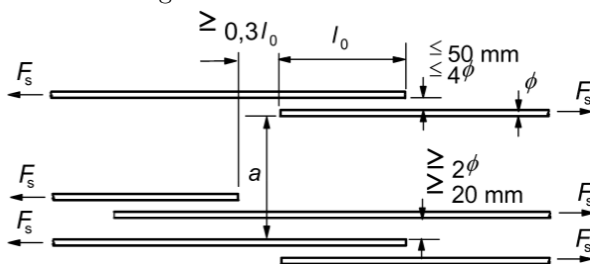
Stoß	Stab- ϕ	Stoßanteil einer Bewehrungslage	
		$\leq 33\%$	$> 33\%$
Zug	$< 16\text{ mm}$	1,2 ^a	1,4 ^a
	$\geq 16\text{ mm}$	1,4 ^a	2,0 ^b
Druck	alle	1,0	1,0

Wenn die lichten Stababstände $a \geq 8\phi$ (Bild 8.7) und der Randabstand in der Stoßebene $c_1 \geq 4\phi$ (Bild 8.3) eingehalten werden, darf der Beiwert α_6 reduziert werden auf:

^a $\alpha_6 = 1,0$
^b $\alpha_6 = 1,4$

– $l_{0,min} = \max\{0,3 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd}; 15 \cdot \phi_s; 200\text{mm}\}$, α_1 darf berücksichtigt werden

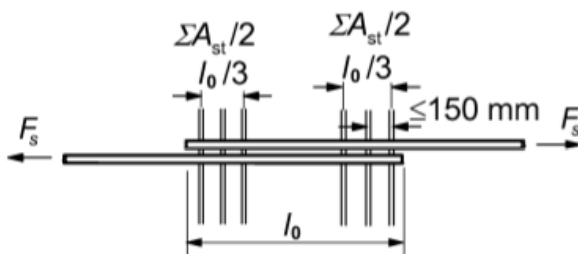
- Stoßanordnung



- Wenn der lichte Abstand zwischen zwei übergreifenden Stößen kleiner als $\{50\text{mm}; 4 \cdot \phi\}$, ist die Übergreifungslänge um die Differenz zu $\{50\text{mm}; 4 \cdot \phi\}$ zu vergrößern
- Sind die drei Anforderungen erfüllt, dürfen alle Zugstäbe in einer Lage gestoßen werden. Bei Stäben in mehreren Lagen ist dieser Anteil auf 50% zu reduzieren.

- Querbewehrung für Zugstäbe

- Wenn der Durchmesser der gestoßenen Stäbe $\phi_s < 20\text{mm}$ ist oder der Anteil gestoßener Stäbe in jedem Querschnitt höchstens 25% beträgt, dann darf die aus anderen Gründen vorhandene Querbewehrung oder Bügel ohne jeden weiteren Nachweis als ausreichend zur Aufnahme der Querkraft angesehen werden.
- Wenn der Durchmesser der gestoßenen Stäbe $\phi_s \geq 20\text{mm}$ ist, darf in der Regel die Gesamtquerschnittsfläche der Querbewehrung $\sum A_{st}$ (Summe aller Schenkel, die parallel zur Lage der gestoßenen Bewehrung verlaufen) nicht kleiner als die Querschnittsfläche A_s eines gestoßenen Stabes ($\sum A_{st} \geq 1,0 \cdot A_s$) sein. Der Querstab sollte orthogonal zur Richtung der gestoßenen Bewehrung angeordnet werden.



9 Verbundkraftübertragung in Fugen

1. Ermittlung der maßgebenden Querkraft V_{Ed} , ggf. Abminderung ähnlich Abschnitt 4.4

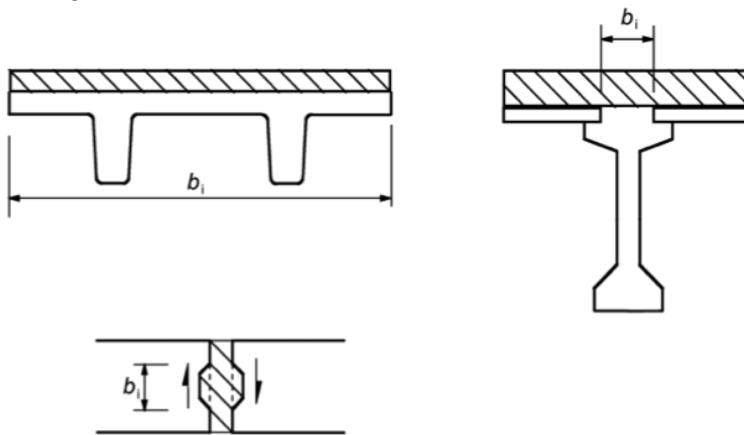
- Für Plattenbalken ab Auflagerrand 45°-Winkel bis zur Fuge

2. Bestimmung des Mindestwerts von $V_{Rd,c}$ (unbewehrtes Bauteil) nach Abschnitt 5.3 (bezogen auf gesamtes Bauteil)

- $V_{Rd,c} = (\nu_{min} + 0.12 \cdot \sigma_{cd}) \cdot b_w \cdot d$
 - $\nu_{min} = \frac{\kappa_1}{\gamma_c} \cdot \sqrt{k^3 \cdot f_{ck}}$
 - * $\kappa_1 = \begin{cases} 0.0525 & \text{für } d \leq 600 \\ 0.0375 & \text{für } d \geq 800 \end{cases}$
 - * $k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2, d \text{ [mm]}$
 - $\sigma_{cd} = \frac{N_{Ed}}{A_c}$ (berücksichtigt äußere Normalkraft, Druck positiv)
- Nachweis der Druckstrebe: $V_{Rd,c} \geq V_{Ed}$

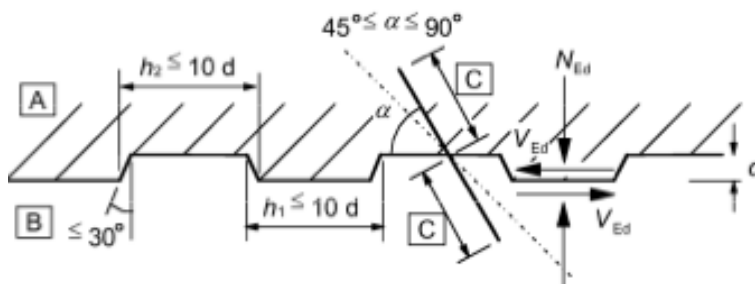
3. Bemessungswert der Schubkraft in der Fuge: $\nu_{Edi} = \frac{\beta \cdot V_{Ed}}{z \cdot b_i}$

- $\beta = 1.0$
- $z = \min \left\{ \begin{array}{l} 0.9 \cdot d \\ d - 2 \cdot c_{nom} \geq d - c_{nom} - 30 \text{ mm} \end{array} \right\}$
- b_i : Fugenbreite



4. Bemessungswert der Schubtragfähigkeit: $\nu_{Rdi} = c \cdot f_{ctd} + \mu \cdot \sigma_n + \frac{A_s}{A_i} \cdot f_{yd} \cdot 1.2 \cdot (\mu \cdot \sin \alpha + \cos \alpha) \leq 0.5 \cdot \nu \cdot f_{cd}$

- c, μ : Fugenbeiwerte
 - Sehr glatt: die Oberfläche wurde gegen Stahl, Kunststoff oder speziell geglättete Holzschalungen betoniert, oder Fließfähigkeit $\geq F5$: $c = 0$ und $\mu = 0.5$
 - Glatt: die Oberfläche wurde abgezogen oder im Gleit- bzw. Extruderverfahren hergestellt, oder blieb nach dem Verdichten ohne weitere Behandlung: $c = 0.20$ und $\mu = 0.6$
 - Rau: eine Oberfläche mit mindestens 3 mm Rauigkeit, erzeugt durch Rechen mit ungefähr 40 mm Zinkenabstand, Freilegen der Gesteinskörnungen (mind. 3 mm) oder andere Methoden, die ein äquivalentes Verhalten herbeiführen: $c = 0.40$ und $\mu = 0.7$
 - Verzahnt: eine verzahnte Oberfläche (siehe Bild) oder für $d_g \geq 16 \text{ mm}$, 6 mmtief freigelegt: $c = 0.50$ und $\mu = 0.9$



$$* 0.8 \leq \frac{h_1}{h_2} \leq 1.25$$

$$* d \geq 10 \text{ mm}$$

– Fugen unter Zug: $c = 0$

- $f_{ctd} = \alpha_{ct} \cdot \frac{f_{ctk}}{\gamma_C}$: Bemessungswert der Betonzugfestigkeit
- σ_n : Spannung infolge der minimalen Normalkraft rechtwinklig zur Fuge; Zug negativ
- $\rho = \frac{A_s}{A_i}$: Bewehrungsgrad (Flächenanteil der die Fuge kreuzenden Verbundbewehrung)
- α : Neigungswinkel der Verbundbewehrung, $45^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$
- ν : Festigkeitsabminderungsbeiwert in Abhängigkeit der Fugenrauheit
 - sehr glatte Fuge: $\nu = 0$
 - glatte Fuge: $\nu = 0.2$
 - raue Fuge: $\nu = 0.5$
 - sehr raue Fuge: $\nu = 0.7$
- Für Betonfestigkeitsklassen $\geq C55/67$: Multiplikation mit $\nu_2 = 1.1 - \frac{f_{ck}}{500}$