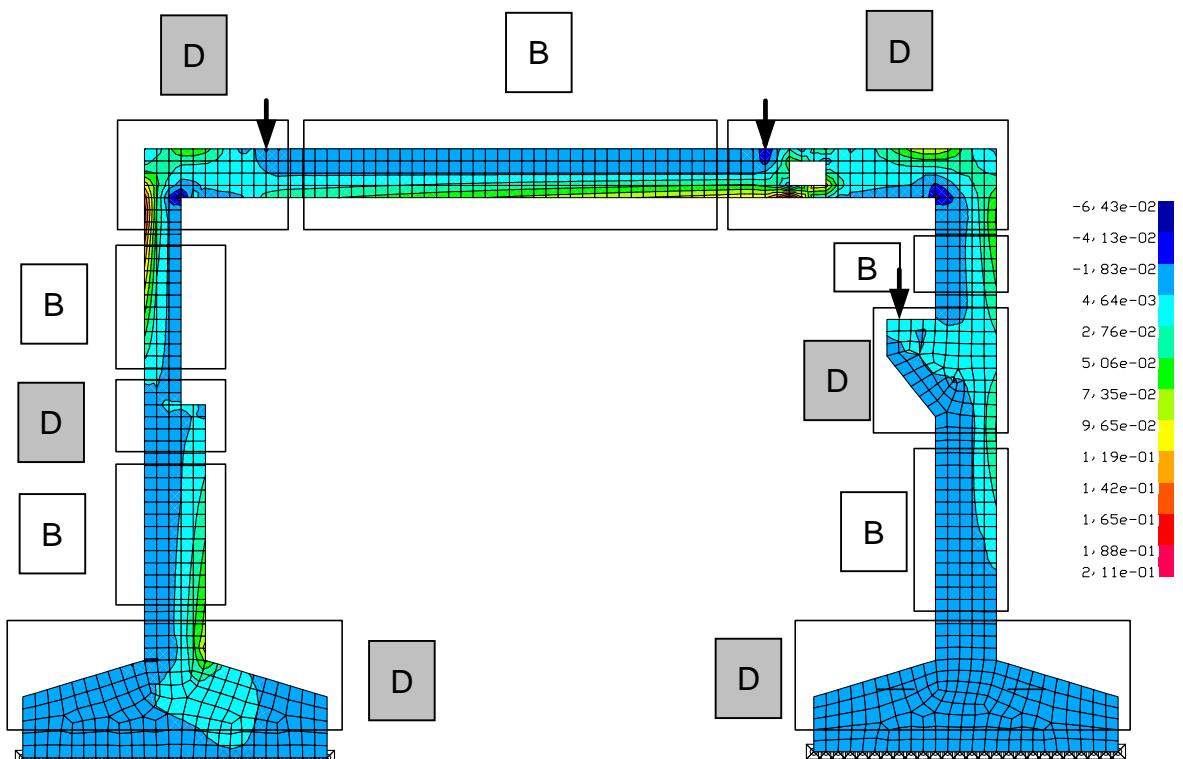


Grundlagen des Stahlbeton- und Spannbetonbaus

Teil II: Konstruktion und Bauteile



Inhaltsübersicht Grundlagen II (Wintersemester)

Grundlagen des Bewehrens und Konstruierens	1
• Expositionsklassen	1
• Beispiele	5
• Verbundsicherung	7
• Mindestbetondeckung	8
• Wahl der Bewehrung	9
• Lagesicherung	14
• Beispiele	16
• Darstellung	18
• Biegerollendurchmesser	20
• Bewehrungspläne	21
• Verankerungslänge	26
• Querbewehrung	32
• Bewehrungsstoß	34
Zugkraftdeckung, Randverankerung und Schubkraftdeckung	46
• Zugkraftdeckung	46
• Allgemeines	46
• Einfache Fachwerke	47
• Realitätsnahe Fachwerke	49
• Versatzmaß	50
• Zugkraftdeckungslinie	53
• Schubkraftdeckung	55
• Allgemeines	55
• Zulagen und Schrägstäbe	56
• Schubbewehrung	57

Inhalt

Bemessen und Konstruieren mit Fachwerkmodellen	58
• Grundlagen	58
• Beispiele	60
• Diskontinuitätsbereiche	65
• Nachweisführung	70
• Spaltzug	74
• Randzug	76
• Lasteinleitung	80
• Querschnittssprünge	82
• Lagerung	85
• Konsolen	88
• Rahmenecken	93
Konstruktionsregeln für Bauteile	100
• Balken	100
• Stützen	114
• Wandartige Träger	122
• Fundamente	134
• Streifenfundamente	135
• Einzelfundamente	138
• Platten	141
• Flachdecken	168
Dimensionierungshilfen	177
• Balken	177
• Platten	180
Literatur	184

a) Exposition und Betondeckung

Eine angemessene **Dauerhaftigkeit** eines Tragwerks gilt als sichergestellt, wenn:

- Anforderungen aus den **Nachweisen** im GZT und GZG erfüllt werden (→ Grundlagen I)
- **konstruktiven Regeln** beachtet werden
- Anforderungen an die Zusammensetzung und die Eigenschaften des **Betons** erfüllt werden

→ Umgebungsbedingungen (Exposition)

Die Umgebungsbedingungen im Sinne des EC 2 mit Nationalem Anhang sind durch **chemische und physikalische Einflüsse** gekennzeichnet, denen ein Tragwerk als Ganzes, einzelne Bauteile, der Spann- und Betonstahl und der Beton selbst ausgesetzt sind und die bei den Nachweisen im GZT und GZG nicht direkt berücksichtigt werden. Dabei wird zwischen den Umgebungsbedingungen für **Beton** und **Bewehrung** unterschieden.

Expositionsklasse	Europäische Namen	Erläuterung	
X0	0	Kein Angriffsrisiko	
XC	Carbonation	Bewehrungskorrosion	Karbonatisierung
XD	Deicing-Salt		Chloride
XS	Sea		Meerwasser
XF	Frost	Betonangriff	Frost und Frost-Tausalz
XA	Acid		Chemischer Angriff
XM	Mechanical Abrasion		Verschleiß

Beispiel für Bezeichnung:

X C 2

Grundbezeichnung

Exposition

Art des Angriffs

0, C, D, S, F, A, M

(Chemisch oder
physikalisch)

Stärke des Angriffs

0: kein Angriff

1: gering

2: mäßig

3: stark

4: extrem

Zusätzlich zur Expositionsklasse ist das Bauteil einer von 4 möglichen **Feuchtigkeitsklassen** (WO, WF, WA, WS) zuzuordnen. Davon ausgehend können für die Betonherstellung geeignete Gesteinskörnungen und Zemente gewählt werden. Der Grund dafür ist die Vermeidung von **Alkali-Kieselsäure-Reaktionen (AKR)**. Dabei handelt es sich um eine chemische Reaktion, bei der Betonzuschläge mit alkalilöslicher **Kieselsäure** (Opalsandstein, Flint, Grauwacke) mit **Alkalien** (Zement, Taumittel) unter **Feuchtigkeitseinwirkung** reagieren. Resultierende Schäden sind:

- Ausdehnung bei Wasseraufnahme (Alkalitreiben)
- Risse und Betonabplatzungen

Aus der **Klassifizierung anhand der Umgebungsbedingungen** (Exposition) folgen:

- Expositionsklasse
- Mindestbetonfestigkeit / Betonzusammensetzung / Nachbehandlung
- Mindestbetondeckung

Expositionsklassen nach EC 2 + NAD:

→ **Bewehrungskorrosion** Primärquellen [1] [2], Sekundärquellen [3] [4]

Klasse	Beschreibung der Umgebung	Beispiele für die Zuordnung von Expositionsklassen (informativ)	Mindestfestigkeitsklasse
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	Fundamente ohne Bewehrung ohne Frost; Innenbauteile ohne Bewehrung; Beton in Gebäuden mit sehr geringer Luftfeuchte (RH ≤ 30%)	C12/15
2 Korrosion, ausgelöst durch Karbonatisierung			
XC1	Trocken oder ständig nass	Bauteile in Innenräumen mit üblicher Luftfeuchte (einschließlich Küche, Bad und Waschküche in Wohngebäuden); Beton, der ständig in Wasser getaucht ist	C16/20
XC2	Nass, selten trocken	Teile von Wasserbehältern; Gründungsbauteile	C16/20
XC3	Mäßige Feuchte	Bauteile, zu denen die Außenluft häufig Zugang hat, z. B. offene Hallen, Innenräume mit hoher Luftfeuchte z. B. in gewerblichen Küchen, Bädern, Wäschereien, in Feuchträumen von Schwimmbädern und in Viehställen	C20/25
XC4	Wechselnd nass und trocken	Außenbauteile mit direkter Beregnung	C25/30
3 Bewehrungskorrosion, ausgelöst durch Chloride, ausgenommen Meerwasser			
XD1	Mäßige Feuchte	Bauteile im Sprühnebelbereich von Verkehrsflächen; Einzelgaragen	C30/37 ^{a)}
XD2	Nass, selten trocken	Solebäder; Bauteile, die chloridhaltigen Industrieabwässern ausgesetzt sind	C35/45 ^{a)}
XD3	Wechselnd nass und trocken	Teile von Brücken mit häufiger Spritzwasserbeanspruchung; Fahrbahndecken; direkt befahrene Parkdecks ^{b)}	C35/45 ^{a)}
4 Bewehrungskorrosion, ausgelöst durch Chloride aus Meerwasser			
XS1	Salzhaltige Luft, kein unmittelbarer Kontakt mit Meerwasser	Außenbauteile in Küstennähe	C30/37 ^{a)}
XS2	Unter Wasser	Bauteile in Hafenanlagen, die ständig unter Wasser liegen	C35/45 ^{a)}
XS3	Tidebereich, Spritzwasser- und Sprühnebelbereiche	Kaimauern in Hafenanlagen	C35/45 ^{a)}

ANMERKUNG Die Zusammensetzung des Betons wirkt sich sowohl auf den Schutz der Bewehrung als auch auf den Widerstand des Betons gegen Angriffe aus. Anhang E enthält indikative Mindestfestigkeitsklassen für bestimmte Umgebungsbedingungen. Das kann dazu führen, dass für einen Beton eine höhere Druckfestigkeitsklasse verwendet werden muss, als aus der Bemessung erforderlich ist. In solchen Fällen ist in der Regel der Wert f_{cm} der höheren Druckfestigkeitsklasse für die Berechnung der Mindestbewehrung und der Begrenzung der Rissbreite (siehe 7.3.2 bis 7.3.4) zu übernehmen.

^{a)} Bei Luftporenbeton, z.B. wegen gleichzeitiger Anforderung aus XF, eine Betonfestigkeitsklasse niedriger (vgl. auch ^{c)}).

^{b)} Ausführung von Parkdecks nur mit zusätzlichen Maßnahmen (z.B. rissüberbrückende Beschichtung, siehe DAfStb-Heft 600).

^{c)} Anforderungen gelten für Luftporenbeton mit Mindestanforderungen an den mittleren Luftgehalt im Frischbeton nach DIN 1045-2 unmittelbar vor dem Einbau.

^{d)} Bei Oberflächenbehandlung des Betons nach DIN 1045-2 (Vakuumieren oder Flügelglätten).

→ Betonangriff

Klasse	Beschreibung der Umgebung	Beispiele für die Zuordnung von Expositionsklassen (informativ)	Mindestfestigkeitsklasse
5 Betonangriff durch Frost mit und ohne Taumittel			
XF1	Mäßige Wassersättigung ohne Taumittel	Außenbauteile	C25/30
XF2	Mäßige Wassersättigung mit Taumittel oder Meerwasser	Bauteile im Sprühnebel- oder Spritzwasserbereich von taumittelbehandelten Verkehrsflächen, soweit nicht XF4; Betonbauteile im Sprühnebelbereich von Meerwasser	C25/30 LP ^{c)} C35/45
XF3	Hohe Wassersättigung ohne Taumittel	offene Wasserbehälter; Bauteile in der Wasserwechselzone von Süßwasser	C25/30 LP ^{c)} C35/45
XF4	Hohe Wassersättigung mit Taumittel oder Meerwasser	Verkehrsflächen, die mit Taumittel behandelt werden; Überwiegend horizontale Bauteile im Spritzwasserbereich von Taumittelbehandelten Verkehrsflächen; Räumerlaufbahnen von Kläranlagen; Meerwasserbauteile in der Wasserwechselzone	C30/37 LP ^{c)}
6 Betonangriff durch chemischen Angriff der Umgebung			
XA1	Chemisch schwach angreifende Umgebung	Behälter von Kläranlagen; Güllebehälter	C25/30
XA2	Chemischmäßig angreifende Umgebung und Meeresbauwerke	Betonbauteile, die mit Meerwasser in Berührung kommen; Bauteile in betonangreifenden Böden	C35/45 ^{a)}
XA3	Chemisch stark angreifende Umgebung	Industrieabwasseranlagen mit chemisch angreifenden Abwässern; Futtertische der Landwirtschaft; Kühltürme mit Rauchgasableitung	C35/45 ^{a)}
7 Betonangriff durch Verschleißbeanspruchung			
XM1	Mäßige Verschleißbeanspruchung	Industrieböden (tragend oder aussteifend) mit Beanspruchung durch luftbereifte Fahrzeuge	C30/37 ^{a)}
XM2	Schwere Verschleißbeanspruchung	Industrieböden (tragend oder aussteifend) mit luft- oder vollgummibereiftem Gabelstaplerverkehr	C30/37 ^{a,d)} C35/45 ^{a)}
XM3	Extreme Verschleißbeanspruchung	Industrieböden (tragend oder aussteifend) mit elastomer- oder stahlrollenbereiftem Gabelstaplerverkehr; Oberflächen mit Kettenfahrzeugverkehr; Tosbecken	C35/45 ^{a)}

ANMERKUNG Die Zusammensetzung des Betons wirkt sich sowohl auf den Schutz der Bewehrung als auch auf den Widerstand des Betons gegen Angriffe aus. Anhang E enthält indikative Mindestfestigkeitsklassen für bestimmte Umgebungsbedingungen. Das kann dazu führen, dass für einen Beton eine höhere Druckfestigkeitsklasse verwendet werden muss, als aus der Bemessung erforderlich ist. In solchen Fällen ist in der Regel der Wert f_{cm} der höheren Druckfestigkeitsklasse für die Berechnung der Mindestbewehrung und der Begrenzung der Rissbreite (siehe 7.3.2 bis 7.3.4 zu übernehmen).

^{a)} Bei Luftporenbeton, z.B. wegen gleichzeitiger Anforderung aus XF, eine Betonfestigkeitsklasse niedriger (vgl. auch ^{c)}).

^{b)} Ausführung von Parkdecks nur mit zusätzlichen Maßnahmen (z.B. rissüberbrückende Beschichtung, siehe DAfStb-Heft 600).

^{c)} Anforderungen gelten für Luftporenbeton mit Mindestanforderungen an den mittleren Luftgehalt im Frischbeton nach DIN 1045-2 unmittelbar vor dem Einbau.

^{d)} Bei Oberflächenbehandlung des Betons nach DIN 1045-2 (Vakuumieren oder Flügelglätten).

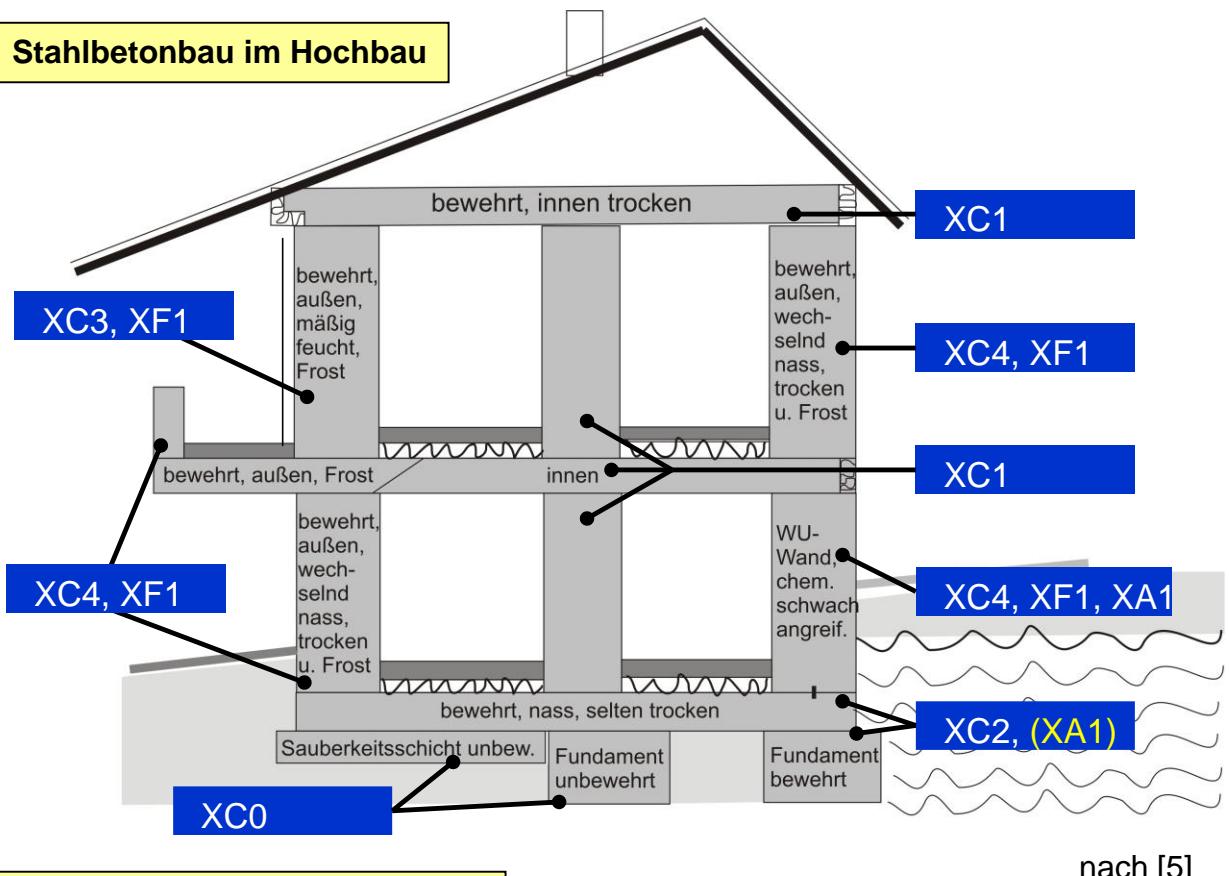
Feuchtigkeitsklassen nach EC 2 mit NAD:

→ Betonkorrosion

Klasse	Beschreibung der Umgebung	Beispiele für die Zuordnung von Feuchtigkeitsklassen (informativ)
NA 7 Betonkorrosion infolge Alkali-Kieselsäurereaktion		
Anhand der zu erwartenden Umgebungsbedingungen ist der Beton einer der folgenden Feuchtigkeitsklassen zuzuordnen.		
WO	Beton, der nach normaler Nachbehandlung nicht längere Zeit feucht und nach dem Austrocknen während der Nutzung weitgehend trocken bleibt.	Innenbauteile des Hochbaus; Bauteile, auf die Außenluft, nicht jedoch z.B. Niederschläge, Oberflächenwasser, Bodenfeuchte einwirken können und/oder die nicht ständig einer relativen Luftfeuchte > 80% ausgesetzt werden.
WF	Beton, der während der Nutzung häufig oder längere Zeit feucht ist.	Ungeschützte Außenbauteile, die z.B. Niederschlägen, Oberflächenwasser oder Bodenfeuchte ausgesetzt sind; Innenbauteile des Hochbaus für Feuchträume, wie z.B. Hallenbäder, Wäschereien und andere gewerbliche Feuchträume, in denen die relative Luftfeuchte überwiegend >80% ist; Bauteile mit häufiger Taupunktunterschreitung, wie z.B. Schornsteine, Wärmeübertragungsstationen, Filterkammern und Viehställe; Massige Bauteile gemäß DAFStb-RiLi "Massige Bauteile aus Beton", deren kleinste Abmessung 0,80 m überschreitet (unabhängig vom Feuchteintritt).
WA	Beton, der zusätzlich zu der Beanspruchung nach Klasse WF häufiger oder langzeitiger Alkalizufuhr von außen ausgesetzt ist.	Bauteile mit Meerwassereinwirkung; Bauteile unter Tausalzeinwirkung ohne zusätzliche hohe dynamische Beanspruchungen (z.B. Spritzwasserbereiche, Fahr- und Stellflächen in Parkhäusern); Bauteile von Industriebauten und landwirtschaftlichen Bauwerken (z.B. Güllebehälter) mit Alkalialzwirkung.
WS	Beton, der hoher dynamischer Beanspruchung und direktem Alkalieintrag ausgesetzt ist.	Bauteile unter Tausalzeinwirkung mit zusätzlicher hoher dynamischer Beanspruchung (z.B. Betonfahrbahnen).

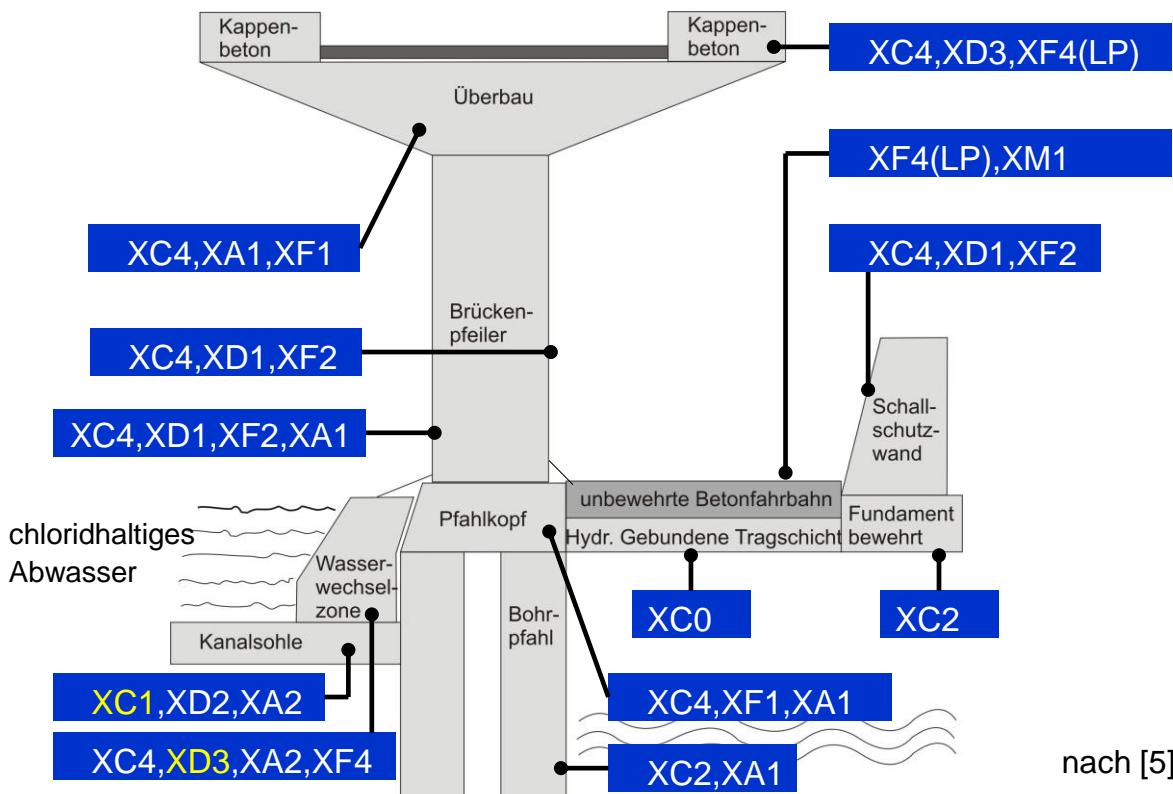
Beispiele zur Einteilung in Expositionsklassen

Stahlbetonbau im Hochbau



nach [5]

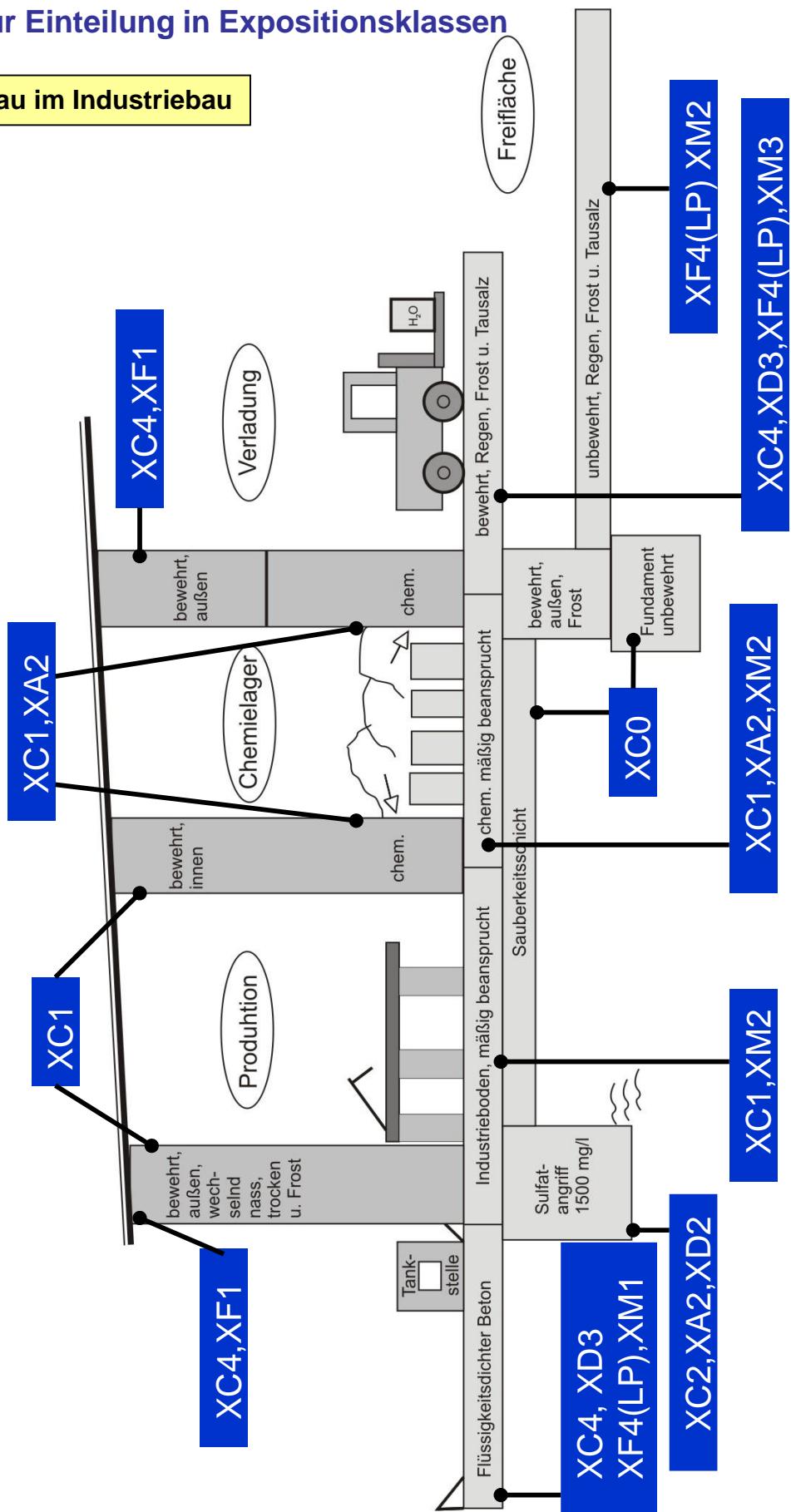
Stahlbetonbau im Ingenieurbau



nach [5]

Beispiele zur Einteilung in Expositionsklassen

Stahlbetonbau im Industriebau



nach [5]

Betondeckung

Funktionen der Betondeckung:

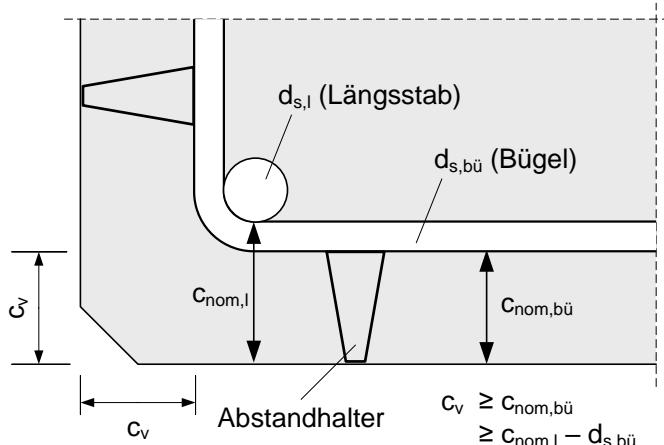
- | | | |
|-------------------------------------|---|---|
| $\max c$
$=$
$\text{erf. } c$ | <ul style="list-style-type: none"> • Verbundsicherung der Stäbe • Brandschutz • Schutz vor Korrosion | $c_{\min,b}$
vgl. Eurocode 2, Teil 1-2 mit NA und
Masterbereich Industriebau

$c_{\min,dur}$ (Karbonatisierung/Passivierung,
Chloride, ...) |
|-------------------------------------|---|---|

Betondeckung: $C_v \geq C_{\text{nom}} = C_{\min} + \Delta C_{\text{dev}}$

mit:
 C_v Verlegemaß der Bewehrung (auf Plänen einzutragen)
 C_{nom} Nennmaß der Betondeckung
 ΔC_{dev} Vorhaltemaß zum Ausgleich unplanmäßiger Abweichungen

Beispiel



Mindestbetondeckung c_{\min}

$$c_{\min} = \max \begin{cases} c_{\min,b} & : \text{aus Verbundanforderungen} \\ c_{\min,dur} & : \text{aus Dauerhaftigkeitsanforderungen} \\ 10 \text{ mm} & \end{cases}$$

$+ \Delta c_{\text{dur},\gamma}$ Sicherheitselement
 $- \Delta c_{\text{dur,st}}$ Abminderungen
 $- \Delta c_{\text{dur,add}}$

Verbundsicherung

Absolutes Minimum aus rein mechanischen Gründen der **Kraftübertragung** zwischen Bewehrungsstahl und Beton.

Stahlbeton: $c_{\min,b} \geq d_s$ (Stabdurchmesser bei Betonstabstahl)

$d_n = d_s \sqrt{n}$ (Vergleichsdurchmesser bei Stabbündeln mit n Stäben)

Spannbeton: $c_{\min,b} \geq 1,5 d_p$ (Durchmesser Spannlitze/Draht im sofortigen Verbund)
 $2,5 d_p$ (Durchmesser des gerippten Drahtes im sofortigen Verbund)
 $d_{a,Hüllrohr} \leq 80 \text{ mm}$ (Durchmesser Hüllrohr im nachträglichen Verbund)

Mindestbetondeckung $c_{min,dur}$ zum Schutz gegen Korrosion von Betonstahl

Überdeckung gegen stahlangreifende Exposition C,S,D bzw. Verschleiß (Opferschicht)

Hinweis: Werte gelten nach EC 2 mit NA für allgemeine Hochbauten. Verkehrs- und Industriebauten z.B. Brücken, Tunnel, Stützwände haben andere Mindestdeckungsgrößen → vgl. ZTV-ING bzw. DIN Fachberichte 102/103

Klasse	$C_{min,dur}$ [mm]		Vorhaltemaß $\Delta c_{dev}^{3,4)}$ [mm]
	Betonstahl	Spannstahl	
XC1	10	20	10
XC2	20	30	
XC3	20	30	
XC4	25	35	15 ²⁾
XD1 – XD3 ¹⁾	40	50	
XS1 – XS3 ¹⁾	40	50	

≥ +20mm bei Unebenheit
+ 50mm Betonieren direkt auf Baugrund

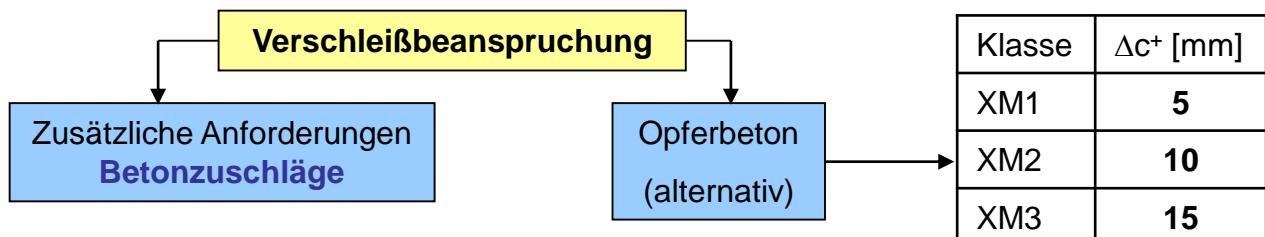
¹⁾ Inklusiv additivem Sicherheitselement $\Delta c_{dur,\gamma}$

²⁾ Das Vorhaltemaß darf um 5 mm abgemindert werden, wenn dies durch entspr. Qualitätskontrolle gerechtfertigt werden kann (siehe DBV-Merkblätter "Betondeckung und Bewehrung", "Unterstützungen" und "Abstandhalter"). Beispiel: Fertigteilwerk.

³⁾ $\Delta c_{dur,add} = 0$ mm ohne Spezifikation und $\Delta c_{dur,add} = 10$ mm für Expositionsklassen XD bei dauerhafter rissüberbrückender Beschichtung (vgl. DAfStb-Heft 600).

⁴⁾ I.d.R. $\Delta c_{dur,st} = 0$. Ansonsten gelten die jeweiligen allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen des verwendeten nichtrostenden Stahls.

- Gültig auch für rechnerisch unbewehrte Betonbauteile mit konstruktiver Oberflächenbewehrung.
- **Abminderung** von $c_{min,dur}$ um 5 mm möglich, wenn Betonfestigkeitsklasse um 2 Klassen über dem geforderten Mindestwert gewählt wird (nicht bei XC1).



Beispiele für die Bestimmung der Betondeckung	Bauteil, Randbedingungen	EC 2 und NA
	Unterzug (Platte), Innenraum, max. Ø = 20 (10) mm XC1, (min. C16/20), gew. C30/37	$c_{min} = c_{min,b} = \emptyset = 20 (10) \text{ mm}$ $\Delta c_{dev} = 10\text{mm} \rightarrow c_V \geq 30 (20) \text{ mm}$
	Fundament, max. Ø = 14mm XC2, (min. C16/20), gew. C30/37	$c_{min} = c_{min,dur} = 20 \text{ mm},$ $\Delta c = 15\text{mm}$ $\Delta c_{fc} = -5\text{mm} \rightarrow c_V \geq 30 \text{ mm}$
	Stütze im Spritzwasserbereich, Straße mit Taumittel behandelt, max. Ø = 25mm XC4, XD3, XF2 (min. C30/37 LP), gew. C30/37 LP	$c_{min} = c_{min,dur} = 40 \text{ mm},$ $\Delta c = 15\text{mm} \rightarrow c_V \geq 55 \text{ mm}$

b) Grundlagen zum Bewehren

Zur „Kunst des Bewehrens“ nach Prof. F. Leonhardt

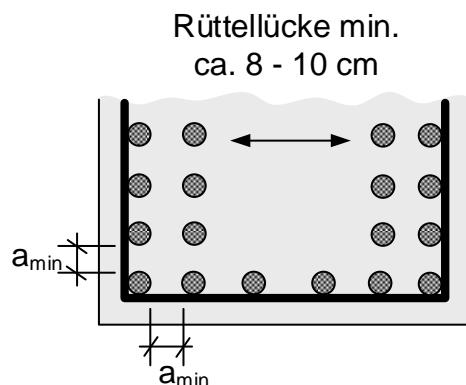
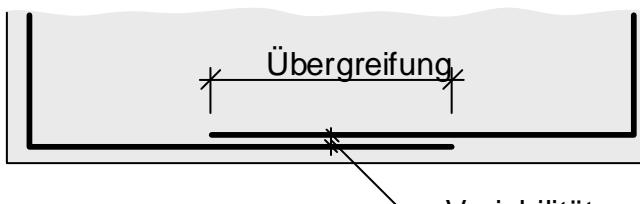
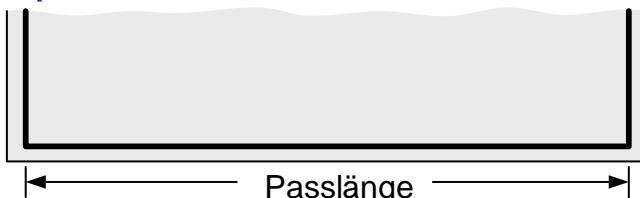
[6]

„Richtiges Bauen erfordert eine klare Vorstellung des Kräfteverlaufs im Inneren der Tragwerke, besonders im Zustand II, es bedingt aber auch praktisches Denken des Bauvorganges. Schwierige Bewehrungen lassen sich nur mit mühevoller Kleinarbeit und Liebe zum Konstruieren gut lösen. Der Ingenieur muss sich der gleichrangigen Bedeutung der Kunst des Bewehrens im Rahmen seiner Teilaufgaben für das Bauen bewusst sein.“

Kriterien zur Wahl der Bewehrung:

- Bewehrung möglichst in Richtung der abzudeckenden (Zug-)Spannungstrajektorien verlegen
- Möglichst einfache, in der Regel orthogonale Bewehrungsnetze verwenden
- Einbaubarkeit und Verarbeitbarkeit beachten, Passmaße falls möglich vermeiden

Beispiele



Betonierbarkeit, Verdichtbarkeit beachten:

[1] [2]

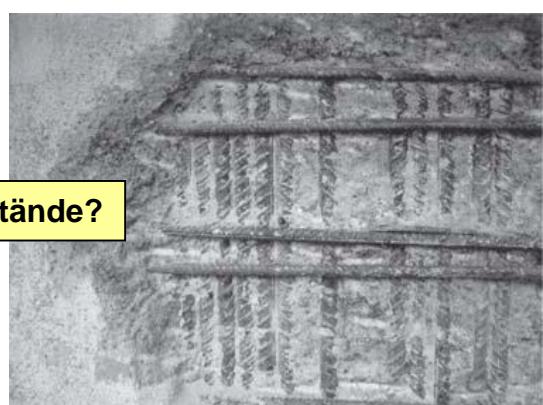
- Stababstände $a \geq a_{\min}$
- Rüttellücken vorsehen
- Entlüftung
- Vermeidung einer „Siebwirkung“

$$a_{\min} = \max \begin{cases} d_s \\ d_g = d_{\text{Größtkorn}} & \text{für } (d_g \leq 16 \text{ mm)} \\ d_g + 5 \\ 20 \text{ mm} & \text{für } (d_g > 16 \text{ mm)} \end{cases}$$



Stababstände?

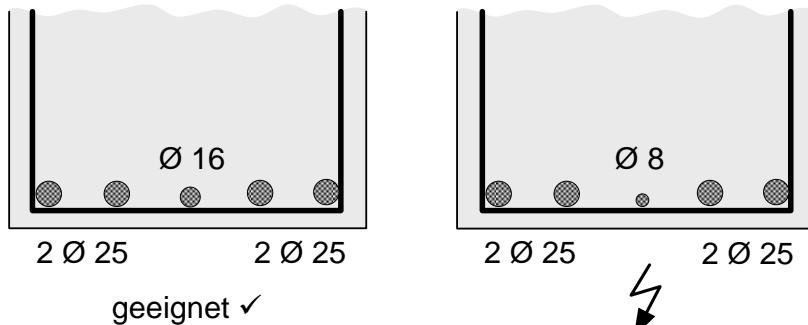
[7]



Geeignete Kombination von Bewehrungsdurchmessern:

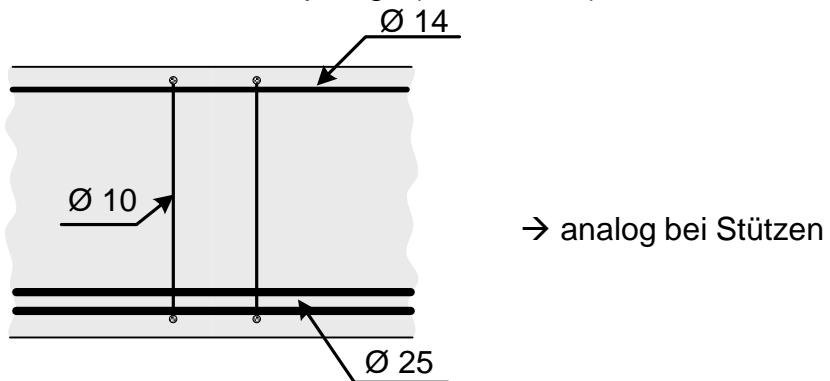
- Anhaltswerte: Ø einer Bewehrungsrichtung
max. ± 3 Durchmessersprünge

Beispiel:

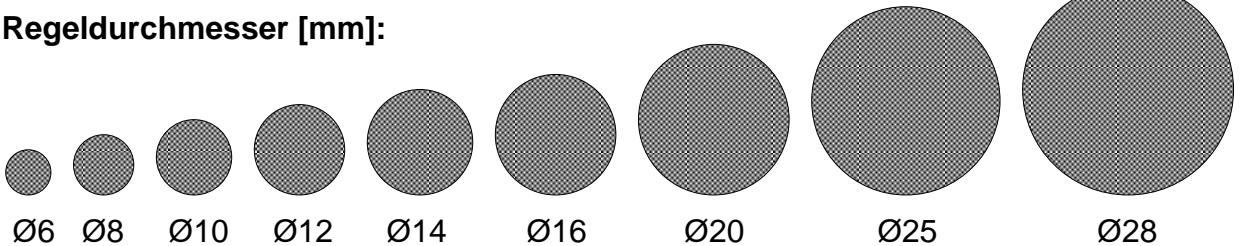


- Bügeldurchmesser auf Längsstabdurchmesser abstimmen:
max. Ø Differenz $\approx \pm 5$ Durchmessersprünge (Anhaltswert)

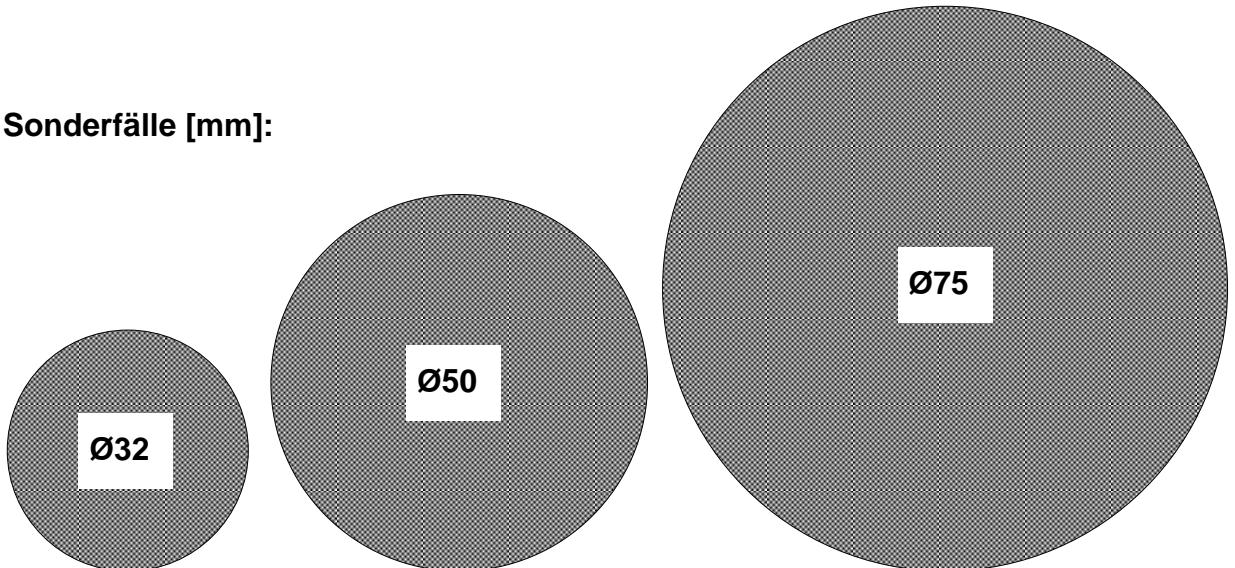
Beispiel:



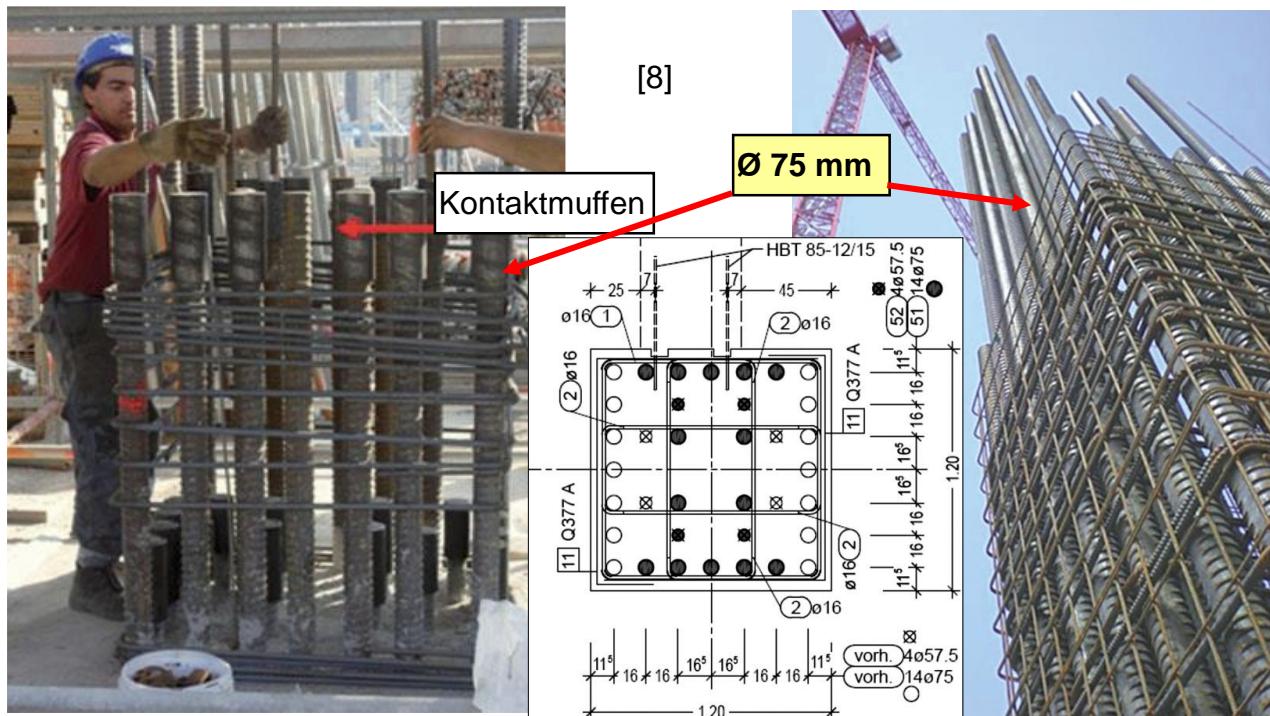
Regeldurchmesser [mm]:



Sonderfälle [mm]:



Beispiel: Stützen des Opernturms in Frankfurt a. M.



a_s in cm^2/m

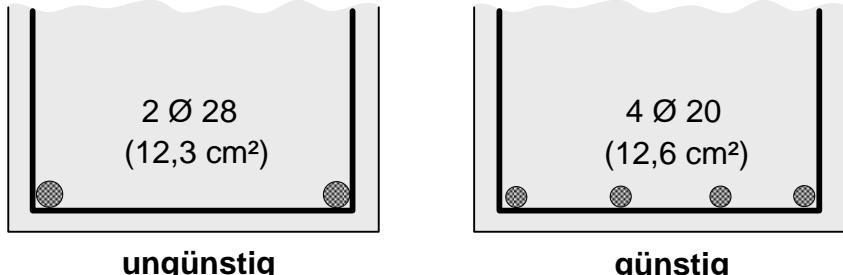
Stababstand s in cm	Durchmesser d_s in mm									Stäbe pro m
	6	8	10	12	14	16	20	25	28	
5,0	5,65	10,05	15,71	22,62	30,79	40,21	62,83	98,17		20,00
5,5	5,14	9,14	14,28	20,56	27,99	36,56	57,12	89,25		18,18
6,0	4,71	8,38	13,09	18,85	25,66	33,51	52,36	81,81		16,67
6,5	4,35	7,73	12,08	17,40	23,68	30,93	48,33	75,52	94,73	15,38
7,0	4,04	7,18	11,22	16,16	21,99	28,72	44,88	70,12	87,96	14,29
7,5	3,77	6,70	10,47	15,08	20,53	26,81	41,89	65,45	82,10	13,33
8,0	3,53	6,28	9,82	14,14	19,24	25,13	39,27	61,36	76,97	12,50
8,5	3,33	5,91	9,24	13,31	18,11	23,65	36,96	57,75	72,44	11,76
9,0	3,14	5,59	8,73	12,57	17,10	22,34	34,91	54,54	68,42	11,11
9,5	2,98	5,29	8,27	11,90	16,20	21,16	33,07	51,67	64,82	10,53
10,0	2,83	5,03	7,85	11,31	15,39	20,11	31,42	49,09	61,58	10,00
10,5	2,69	4,79	7,48	10,77	14,66	19,15	29,92	46,75	58,64	9,52
11,0	2,57	4,57	7,14	10,28	13,99	18,28	28,56	44,62	55,98	9,09
11,5	2,46	4,37	6,83	9,83	13,39	17,48	27,32	42,68	53,54	8,70
12,0	2,36	4,19	6,54	9,42	12,83	16,76	26,18	40,91	51,31	8,33
12,5	2,26	4,02	6,28	9,05	12,32	16,08	25,13	39,27	49,26	8,00
13,0	2,17	3,87	6,04	8,70	11,84	15,47	24,17	37,76	47,37	7,69
13,5	2,09	3,72	5,82	8,38	11,40	14,89	23,27	36,36	45,61	7,41
14,0	2,02	3,59	5,61	8,08	11,00	14,36	22,44	35,06	43,98	7,14
14,5	1,95	3,47	5,42	7,80	10,62	13,87	21,67	33,85	42,47	6,90
15,0	1,88	3,35	5,24	7,54	10,26	13,40	20,94	32,72	41,05	6,67
15,5	1,82	3,24	5,07	7,30	9,93	12,97	20,27	31,67	39,73	6,45
16,0	1,77	3,14	4,91	7,07	9,62	12,57	19,63	30,68	38,48	6,25
16,5	1,71	3,05	4,76	6,85	9,33	12,19	19,04	29,75	37,32	6,06
17,0	1,66	2,96	4,62	6,65	9,06	11,83	18,48	28,87	36,22	5,88
17,5	1,62	2,87	4,49	6,46	8,80	11,49	17,95	28,05	35,19	5,71
18,0	1,57	2,79	4,36	6,28	8,55	11,17	17,45	27,27	34,21	5,56
18,5	1,53	2,72	4,25	6,11	8,32	10,87	16,98	26,53	33,28	5,41
19,0	1,49	2,65	4,13	5,95	8,10	10,58	16,53	25,84	32,41	5,26
19,5	1,45	2,58	4,03	5,80	7,89	10,31	16,11	25,17	31,58	5,13
20,0	1,41	2,51	3,93	5,65	7,70	10,05	15,71	24,54	30,79	5,00
20,5	1,38	2,45	3,83	5,52	7,51	9,81	15,32	23,95	30,04	4,88
21,0	1,35	2,39	3,74	5,39	7,33	9,57	14,96	23,37	29,32	4,76
21,5	1,32	2,34	3,65	5,26	7,16	9,35	14,61	22,83	28,64	4,65
22,0	1,29	2,28	3,57	5,14	7,00	9,14	14,28	22,31	27,99	4,55
22,5	1,26	2,23	3,49	5,03	6,84	8,94	13,96	21,82	27,37	4,44
23,0	1,23	2,19	3,41	4,92	6,69	8,74	13,66	21,34	26,77	4,35
23,5	1,20	2,14	3,34	4,81	6,55	8,56	13,37	20,89	26,20	4,26
24,0	1,18	2,09	3,27	4,71	6,41	8,38	13,09	20,45	25,66	4,17
24,5	1,15	2,05	3,21	4,62	6,28	8,21	12,82	20,04	25,13	4,08
25,0	1,13	2,01	3,14	4,52	6,16	8,04	12,57	19,63	24,63	4,00

Stabdurchmesser d_s in mm	Anzahl der Stäbe									A _s in cm^2
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
6	0,28	0,57	0,85	1,13	1,41	1,70	1,98	2,26	2,54	2,83
8	0,50	1,01	1,51	2,01	2,51	3,02	3,52	4,02	4,52	5,03
10	0,79	1,57	2,36	3,14	3,93	4,71	5,50	6,28	7,07	7,85
12	1,13	2,26	3,39	4,52	5,65	6,79	7,92	9,05	10,18	11,31
14	1,54	3,08	4,62	6,16	7,70	9,24	10,78	12,32	13,85	15,39
16	2,01	4,02	6,03	8,04	10,05	12,06	14,07	16,08	18,10	20,11
20	3,14	6,28	9,42	12,57	15,71	18,85	21,99	25,13	28,27	31,42
25	4,91	9,82	14,73	19,63	24,54	29,45	34,36	39,27	44,18	49,09
28	6,16	12,32	18,47	24,63	30,79	36,95	43,10	49,26	55,42	61,58

- Stabanzahlen ≥ 3 Stäbe je Lage verwenden, Einzelstäbe vermeiden (Redundanz)

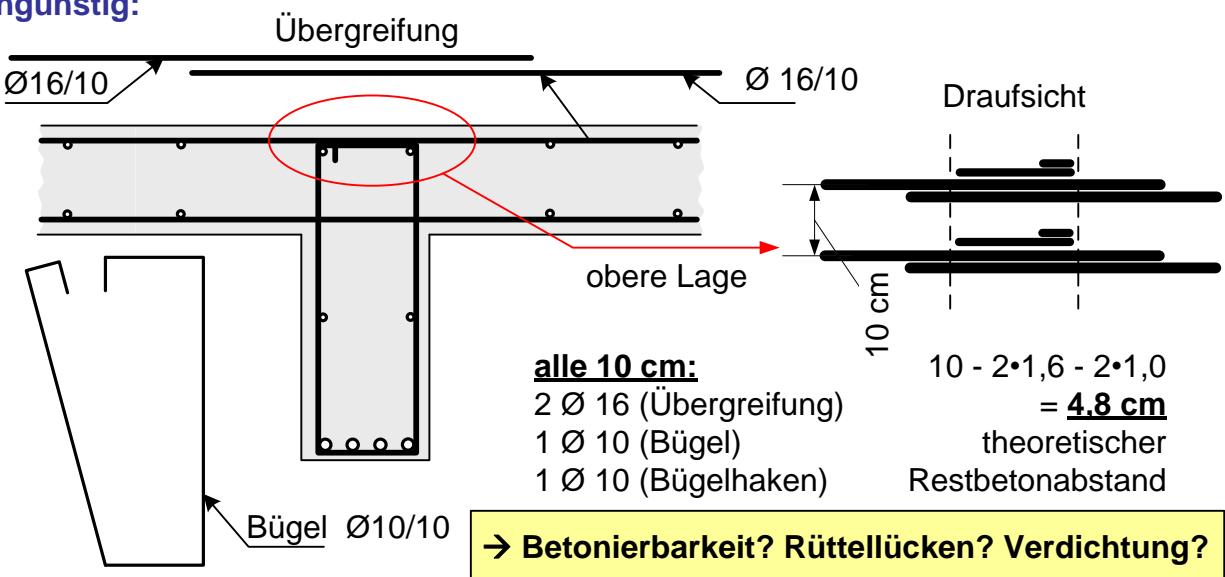
Beispiel:

erf. A = 12,1 cm²

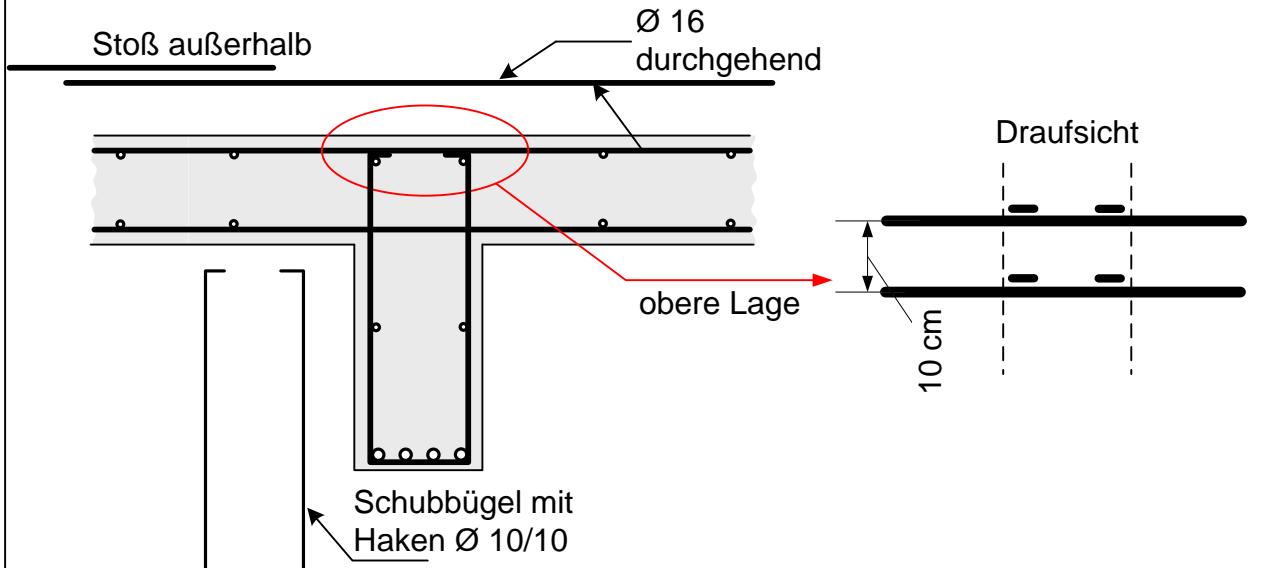


- Bei Bewehrung vorwiegend aus **Rissbreitenbeschränkung** kleinere Durchmesser/ Abstände verwenden (größere Oberfläche)
- Lagesichere Körbe mit geeigneter (ggf. ergänzender) konstruktiver Bewehrung konstruieren
- Stoßbereich bzw. Knotenbereiche ggf. separat bis M1:1 zu konstruieren

ungünstig:

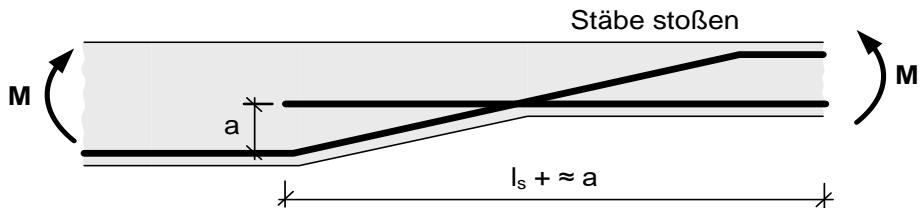


→ Bessere Konstruktion:

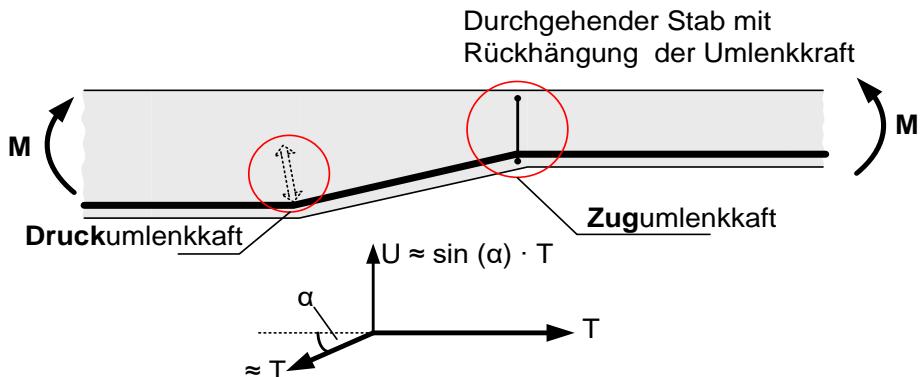


- Umlenkung von Bewehrungs(zug)kräften an Ecken beachten

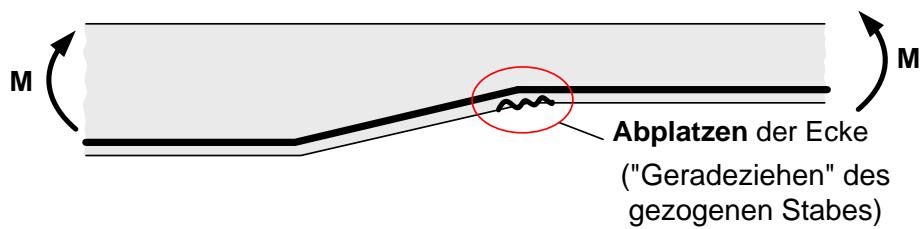
geeignet:



Alternative:

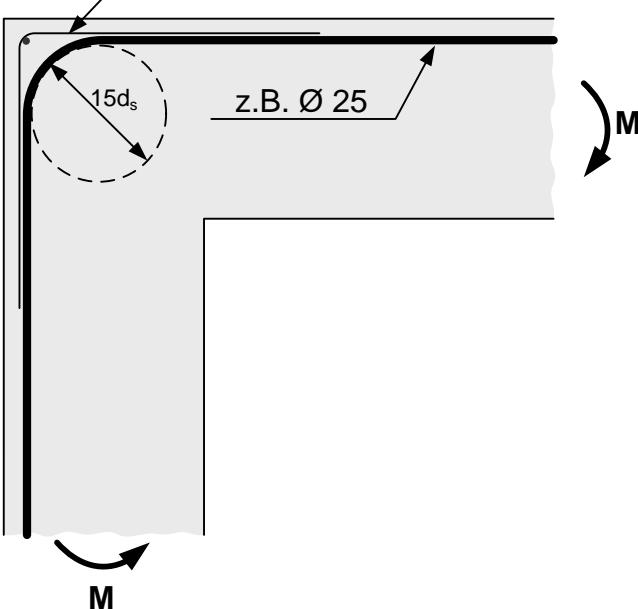


ungeeignet:



- Bereiche mit großer Betondeckung vermeiden, konstruktiv bewehren (z.B. Rahmenecken)

konstruktive Zusatzbewehrung
z.B. Ø 10



[7]

- Lagesicherung der Bewehrung

a) **Betondeckung** (Einzelabstandhalter i.d.R. 4 mal / m²)

b) **Abstandhalter** zwischen oberen / unteren Lagen bzw. linken und rechten Lagen nach Gewicht bzw. Abstand dimensionieren

Dabei Rippen der Stähle beachten:
eff. Durchmesser $\approx 1,10$ bis $1,20 \times$ Nenndurchmesser

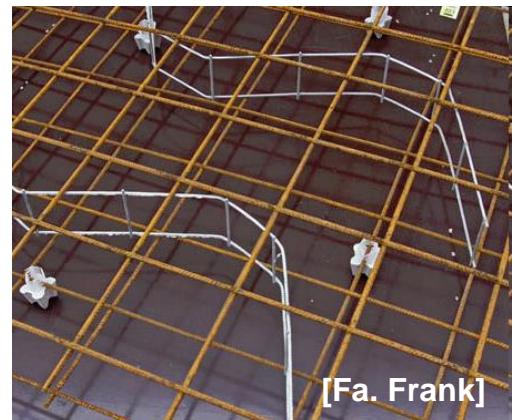
c) Steifes **Verflechten** zum Korb mit Bindedraht (bzw. Punktschweißen, dann grundsätzlich nur nach DIN EN ISO 17660-1, ehemals DIN 4099-1)

Betondeckung?

[7]



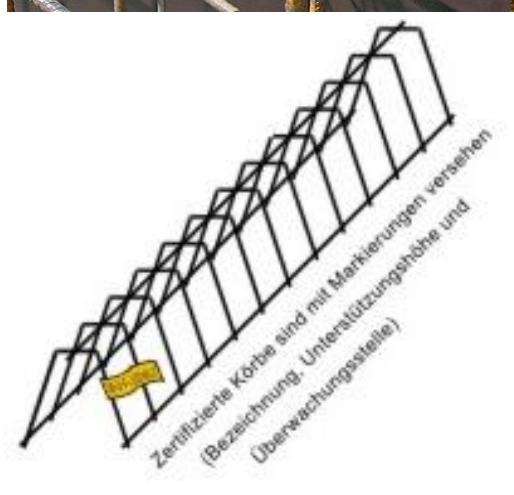
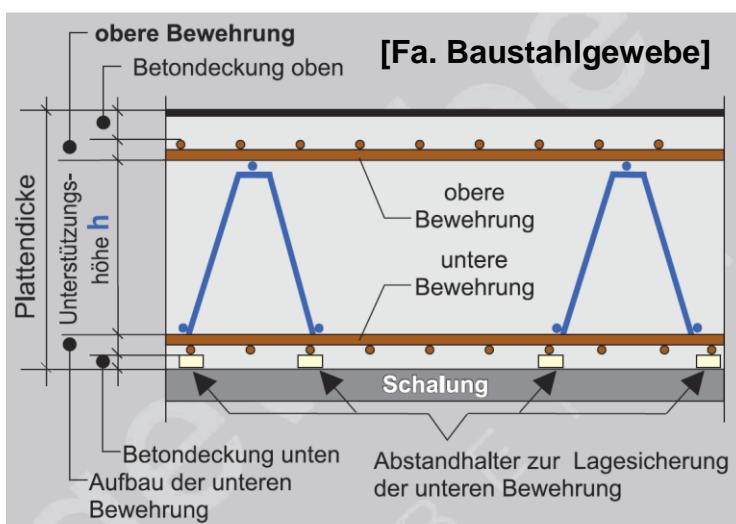
Unterstützungskorb



Einzelabstandhalter aus Faserbeton

Unterstützungskorb

[Fa. Baustahlgewebe]

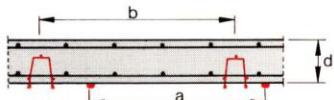


Lagesicherung

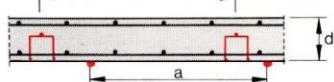
[9]

5.1 Platten

mit Unterstützungs-körben



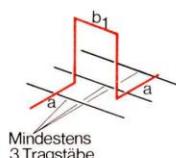
mit Fröschen



Durchmesser der Verteiler-Stäbe	untere Bewehrung		obere Bewehrung			
	Klötzchen Einbau-abstand a	Verbr. je m ² Pl.	Unterstützungsk. Einbau abstand b	Verbr.je m ² Pl.	Frösche Einbau abstand b	Verbr.je m ² Pl.
bis 14 mm	50 cm	4 Stück	50 cm	2 lfm.	50 cm	4 Stück
über 14 mm	70 cm	2 Stück	70 cm	1,4 lfm.	70 cm	2 Stück

5.5 Steherbügel (Frösche)

Die horizontalen Schenkel müssen kippsicher mit der unteren Bewehrung verknüpft werden, dazu muß das Maß a so bemessen werden, daß von beiden Schenkeln zusammen mind. 3 Querstäbe erfaßt werden.

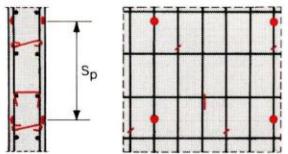


Plattendicke d [cm]	Stabdurchmesser ds [mm]	b1 [cm]
bis 15	10	20
15 – 30	12	20
30 – 50	14	25
50 – 100	16	25
100 – 125	20	30
125 – 150	25	35
150 – 200	28	40

Bei dicken Platten müssen die Steherbügel durch Schrägeisen ausgesteift werden.

5.2 Wände

Querschnitt Ansicht



ds Trag-stäbe	Klötzchen		S-Haken*	U-Haken
	max. Sp	Stück je m ² Wand	Stück je m ² Wand	Stück je m ² Wand
bis 8 mm	70 cm	4	1	
10 bis 14 mm	100 cm	2	1	1
über 14 mm	100 cm	2	4	

*Nach DIN 1045 sind grundsätzlich 4 S-Haken je m² Wandfläche erforderlich. S-Haken dürfen bei Tragstäben ds ≤ 16 mm entfallen, wenn die Betondeckung c > 2 ds ist. In diesem Fall und stets bei geschweißten Betonstahlmatten dürfen die Stäbe in Druckrichtung außen liegen. Zur Lagesicherung sollte jedoch stets ein S-Haken je m² eingebaut werden. S-Haken müssen die außenliegenden Bewehrungsstäbe umfassen. Die nach 3. erforderliche Betondeckung ist auch für S-Haken einzuhalten.

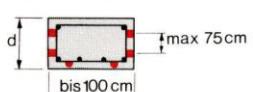
5.6 Traversen (Tragstäbe)

Traversendurchmesser ≥ ds der aufliegenden Bewehrung.

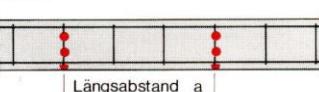
Traversenunterstützung ds der Traverse mm	Unterstützungsabstand max e m	Traversenabstand ds der aufliegenden Bewehrung mm	Abstand max b m
14	1,10	≤ 14	0,50
16	1,20	16	0,70
20	1,30	20	1,10
25	1,40	25	1,30
28	1,50	28	1,50

5.3 Balken

Querschnitt



Ansicht

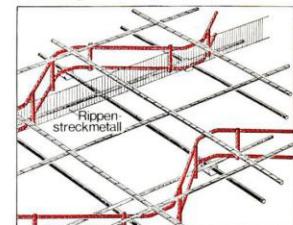


d bzw. b über 100 cm: zusätzl. Klötzchen erforderl.

Stabdurchmesser ds	Klötzchen		
	Längsabstand a	Verbrauch je lfdm. unten b = bis 100 cm	seitlich d = bis 100 cm
bis 10 mm	50 cm	4 Stück	8 Stück
bis 20 mm	100 cm	2 Stück	4 Stück
bis 28 mm	125 cm	1,6 Stück	3,2 Stück

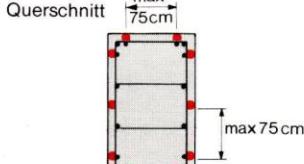
5.7 Unterstützungskörbe

Unterstützungskörbe ("Apsta") neigen dazu, sich unter Belastung zu verformen, insbesondere gilt dies für die niedrigen Formen mit nur 8 mm Stabdurchmesser. Grundsätzlich müssen die Füße kunststoffummantelt bestellt werden. Bessere Lösungen lassen sich mit dem schlangenförmigen Abstandhalter erreichen (Abbildung). Die Standsicherheit ist sehr gut. In Verbindung mit Rippenstreckmetall lassen sich einwandfreie Betonabstellungen erzielen.

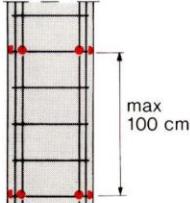


5.4 Stützen

Querschnitt



Ansicht



Stabdurchmesser

Stabdurchmesser ds	Klötzchen		
	Anzahl pro Seite je stgm Stütze bei einer Seitenlänge bis 100 cm	Verbrauch je stgm (Seitenlängen ≤ 100 cm)	
alle ds	2 Stück	> 2 Stück Abst. ≤ 75 cm	8 Stück

5.8 Klötzchen

PVC-Klötzchen dürfen bei Bauwerken mit hoher Qualitätsanforderung, wie Flüssigkeitsbehälter, Spannbetonbrücken etc., nicht verwendet werden. Bei Bauwerken mit weniger hohen Qualitätsanforderungen müssen sie genügend Aufstandsfläche und ausreichende Stabilität haben.

Ringförmige Klötzchen eignen sich nur zur seitlichen Stabilisierung. Sie müssen eine ausreichende Quersteifigkeit haben, da sie zum Umkippen neigen.

Bei steinmetzmäßiger Bearbeitung kommen nur Betonklötzchen in Frage.

Beispiele zur Verlegung der Bewehrung

Bewehrungsnetz
einer Fahrbahnplatte
mit Anschlussbügeln
zu den Kappen



Bewehrungsnetz an
der Spitzen Ecke
einer Fahrbahnplatte
mit Hüllrohren der
Vorspannlitzen



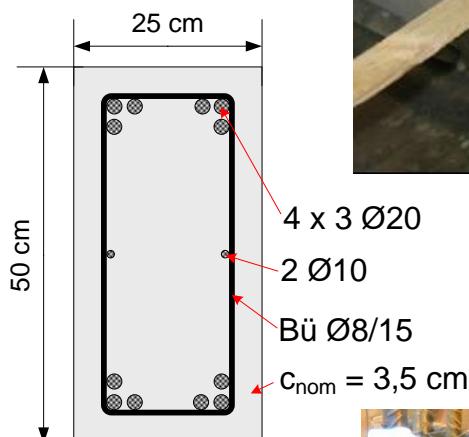
Abgeknickte
Anschlussbewehrung
an einer Arbeitsfuge ✕



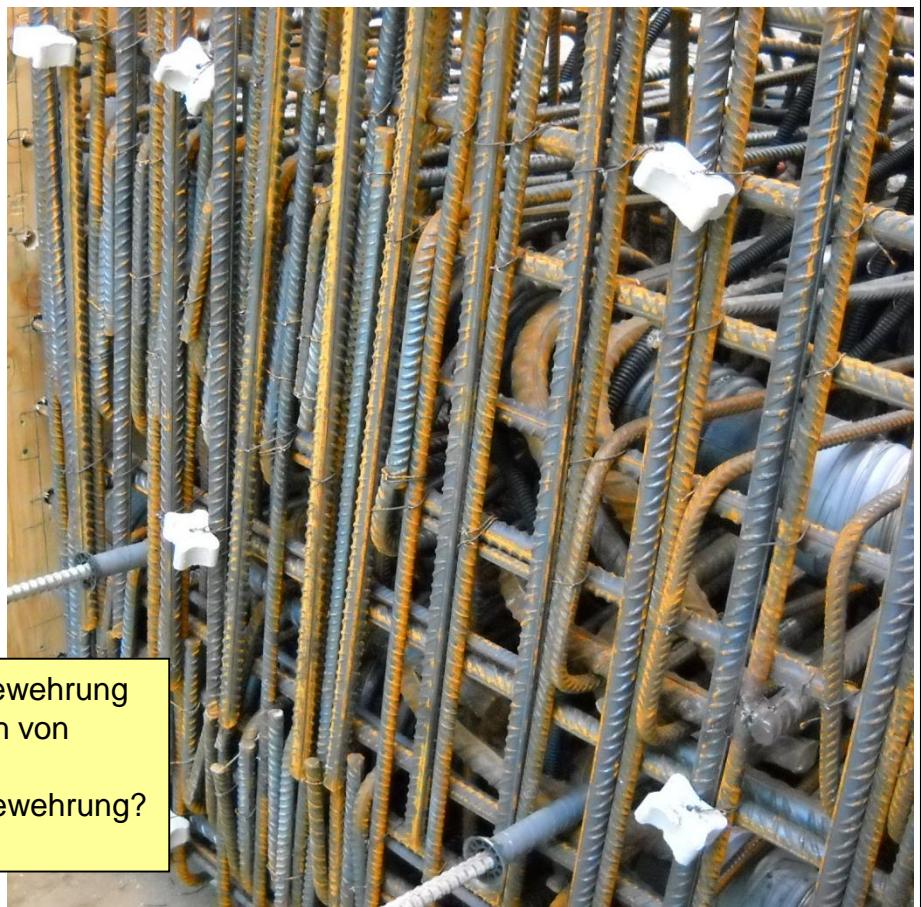
Endverankerung,
Vorgefertigter
Bewehrungskorb,
 $4 \times 3 = 12 \text{ Ø}20$ längs,
Bügel Ø8/15



Querschnitt in Feldmitte



Endverankerungsschlaufen Ø14



Extrem eng liegende Bewehrung
im Verankerungsbereich von
Spanngliedern.
→ Ummantelung der Bewehrung?
→ Verdichten?

Darstellung und Biegen der Bewehrung

Bewehrungszeichnungen

Erforderliche Angaben:

- Festigkeits- und Expositionsklassen des Betons, weitere Anforderungen
- Betonstahl- bzw. Spannstahlsorte
- Anzahl, Durchmesser, Form und Lage der Bewehrungsstäbe; gegenseitiger Abstand und Übergreifungslängen an Stößen und Verankerungslängen; Anordnung, Maße und Ausbildung von Schweißstellen mit Angabe der Schweißzusatzwerkstoffe; Typ und Lage der mechanischen Verbindungsmittel; Rüttelgassen, Lage von Betonieröffnungen
- bei gebogenen Bewehrungsstäben die erforderlichen Biegerollendurchmesser
- Maßnahmen zur Lagesicherung der Betonstahlbewehrung und der Spannglieder (z.B. Art und Anordnung der Abstandshalter) sowie Anordnung, Maße und Ausführung der Unterstützungen der oberen Betonstahlbewehrungslage und der Spannglieder
- das Verlegemaß c_v der Bewehrung, das sich aus dem Nennmaß der Betondeckung c_{nom} ableitet, sowie das Vorhaltemaß Δc_{dev} der Betondeckung
- gegebenenfalls besondere Maßnahmen zur Qualitätssicherung
- die Fugenausbildung
- Hinweis auf zugehörige Zeichnungen

Zugehörige Zeichnungen:

Blatt-Nr. 1 Übersichtsskizze und Details

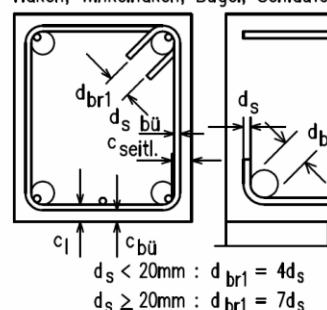
Beispiel:

Schriftfeld eines Bewehrungsplans

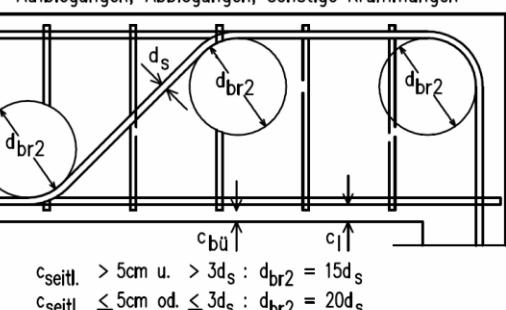
Mindestwerte für Biegerollendurchmesser d_{br} (Betonstahl 500 S)

(Soweit nicht anders angegeben)

Haken, Winkelhaken, Bügel, Schlaufen



Aufbiegungen, Abbiegungen, sonstige Krümmungen



Alle Maße der Betonstahlauszüge sind Außenmaße !

Baustoffe: (Soweit nicht anders angegeben)

Beton: C30/37 XC2, XF1

Betonstahl: 500 S

letzte Stabstahlpos.

5

letzte Mattenpos.

—

Nennmaß der Betonüberdeckung der Stahleinlagen [cm]

Bauteile	unten	oben	seitlich
Wand	5,5 *)	5,5 *)	5,5 *)
	*) Vorhaltemaß 0,5 cm		

Darstellung und Vermaßung

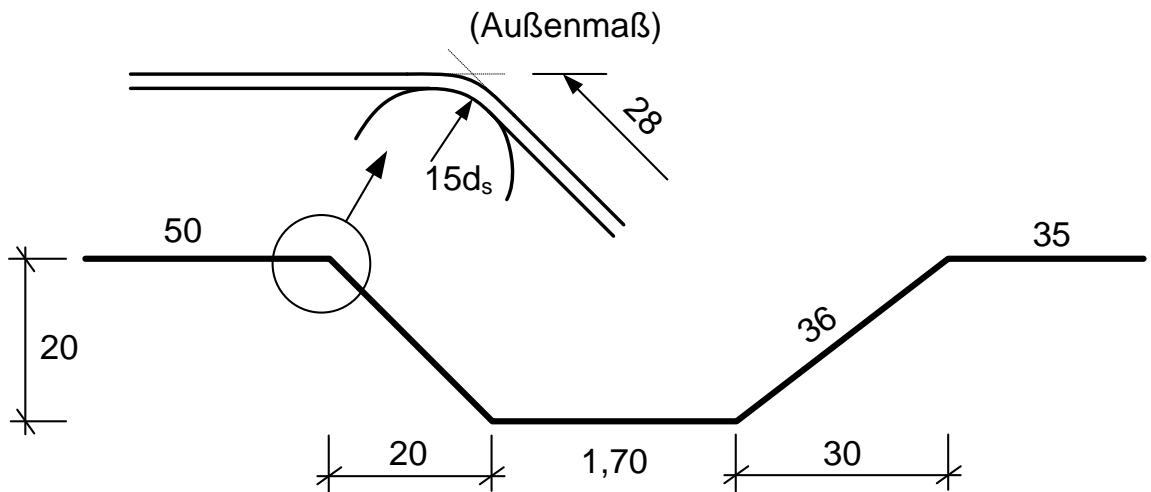
Maßstäbe:

Regelmaßstab 1 : 50 (1 : 25)

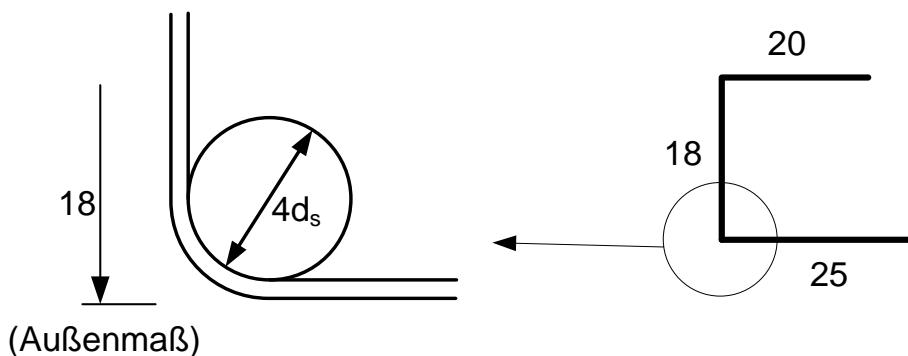
Details 1 : 25 bzw. 1 : 10 bis 1 : 1

(in besonders komplexen Knotenpunkten mit Einbauteilen)

Darstellung der Bewehrung:



① $2+2 = 4 \text{ } \varnothing 16, l = 3,19 \text{ m}$



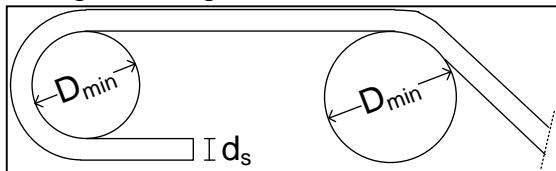
② $30+17 = 47 \text{ } \varnothing 8, a=15, l = 0,63 \text{ m}$

Biegen von Betonstählen

Biegelrollendurchmesser

nach [1] [2]

Der kleinste Biegerollendurchmesser D_{min} eines Stabes (bei vorwiegend ruhender Belastung) muss so festgelegt werden, dass Betonabplatzungen oder Zerstörungen des Betongefüges im Bereich der Biegung und Risse im Bewehrungsstab infolge des Biegens ausgeschlossen werden.



[1] [2] [3]

a) Mindestbiegerollendurchmesser D_{min} für Stäbe und Normalbeton¹⁾

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

b) D_{min} für nach dem Schweißen gebogene Bewehrung (Stäbe und Matten) und Normalbeton¹⁾

	vorwiegend ruhende Einwirkungen		nicht vorwiegend ruhende Einwirkungen	
für	Schweißung außerhalb des Biegebereiches	Schweißung innerhalb	Schweißung auf der Außenseite	Schweißung auf der Innenseite
$a < 4d_s$	$20d_s$	$20d_s$	$100d_s$	$500d_s$
$a \geq 4d_s$	Werte nach Tab. a)			

a = Abstand zwischen Biegeanfang und Schweißstelle

Beispiel:

Auszug aus Bewehrungsplan:

- Anz. Positionen
- Biegerollendurchmesser
- Maßstab

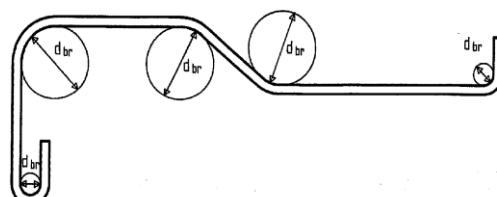
(Beispiel nach DIN 1045-1)

Betondeckung: 5,5 cm

letzte Rundstahlposition 55

Position 54 entfällt

Mindestdurchmesser der Biegerollen



Bewehrungsform		Normalbeton	Leichtbeton
Haken, Winkelhaken, Schlaufen	d_s	< 20	$4 d_s$
		> 20	$7 d_s$
Schrägstäbe oder andere gebogene Stäbe	Seitl. Beton- deckung	$>100\text{mm}$ $>7 d_s$	$10 d_s$
		$>50\text{mm}$ $>3 d_s$	$15 d_s$
		$\leq 50\text{mm}$ $\leq 3 d_s$	$20 d_s$
			$26 d_s$

Die angegebenen Schenkelängen beziehen sich auf die Außenkanten der Eisen !!

M. 1 : 25
0 0.5 1.0 1.5 2.0 2.5 m

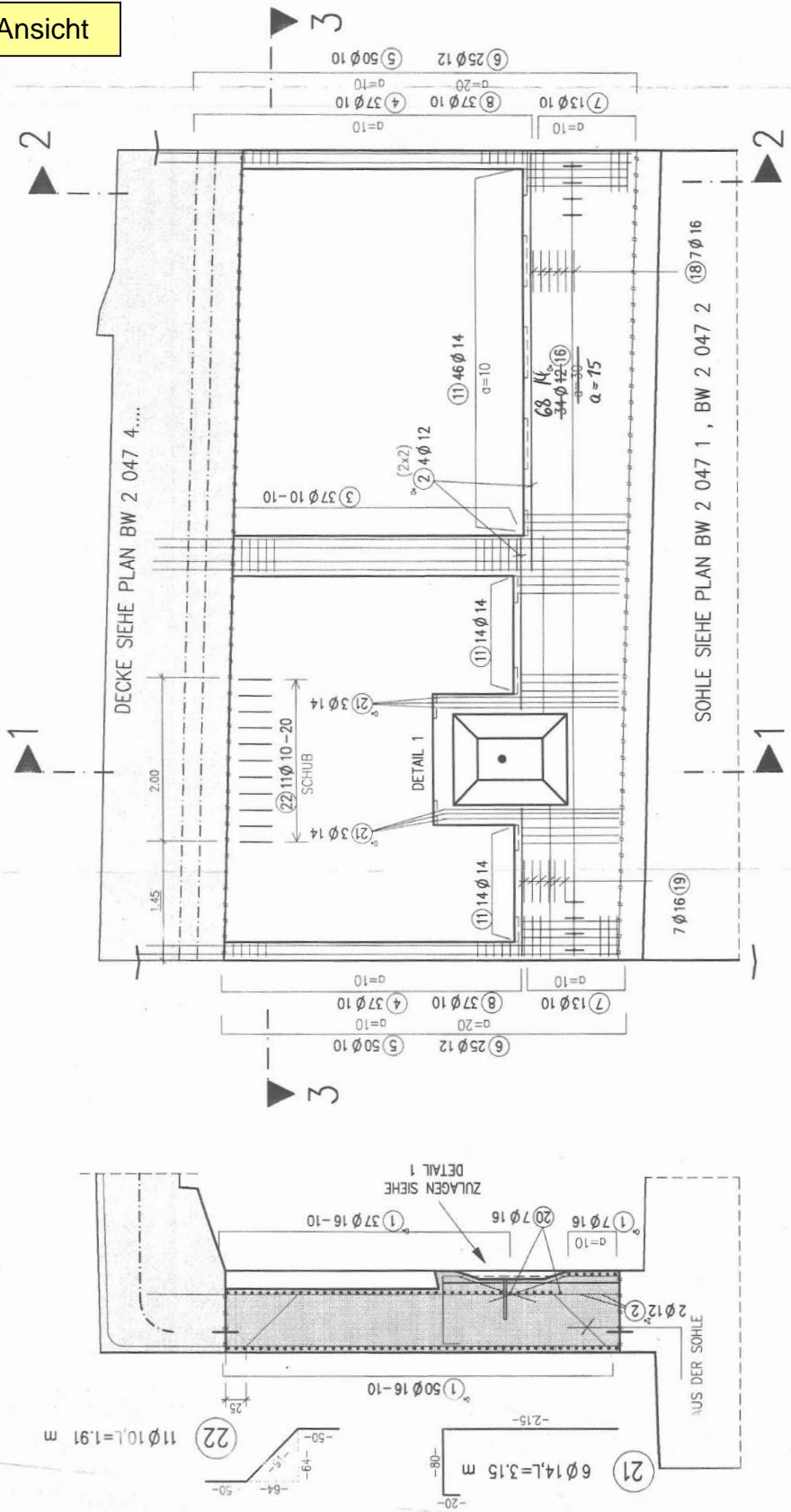
Beispielhafte Auszüge aus Bewehrungsplänen

Projekt: Straßentunnel im Grundwasserbereich

Bewehrung Wände: Ansicht

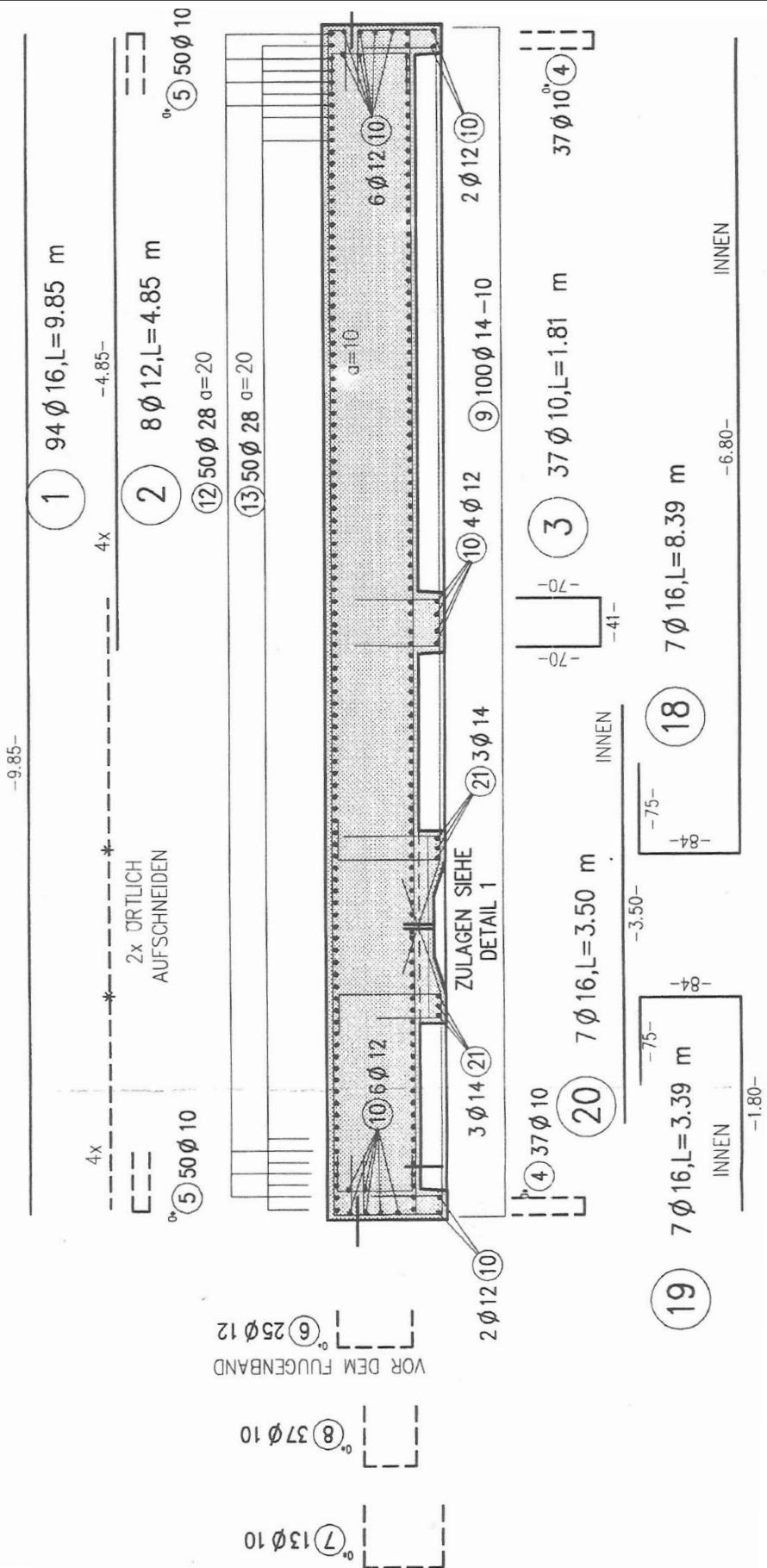
SCHNITT A-A
WANDANSICHT

SCHNITT 1-1

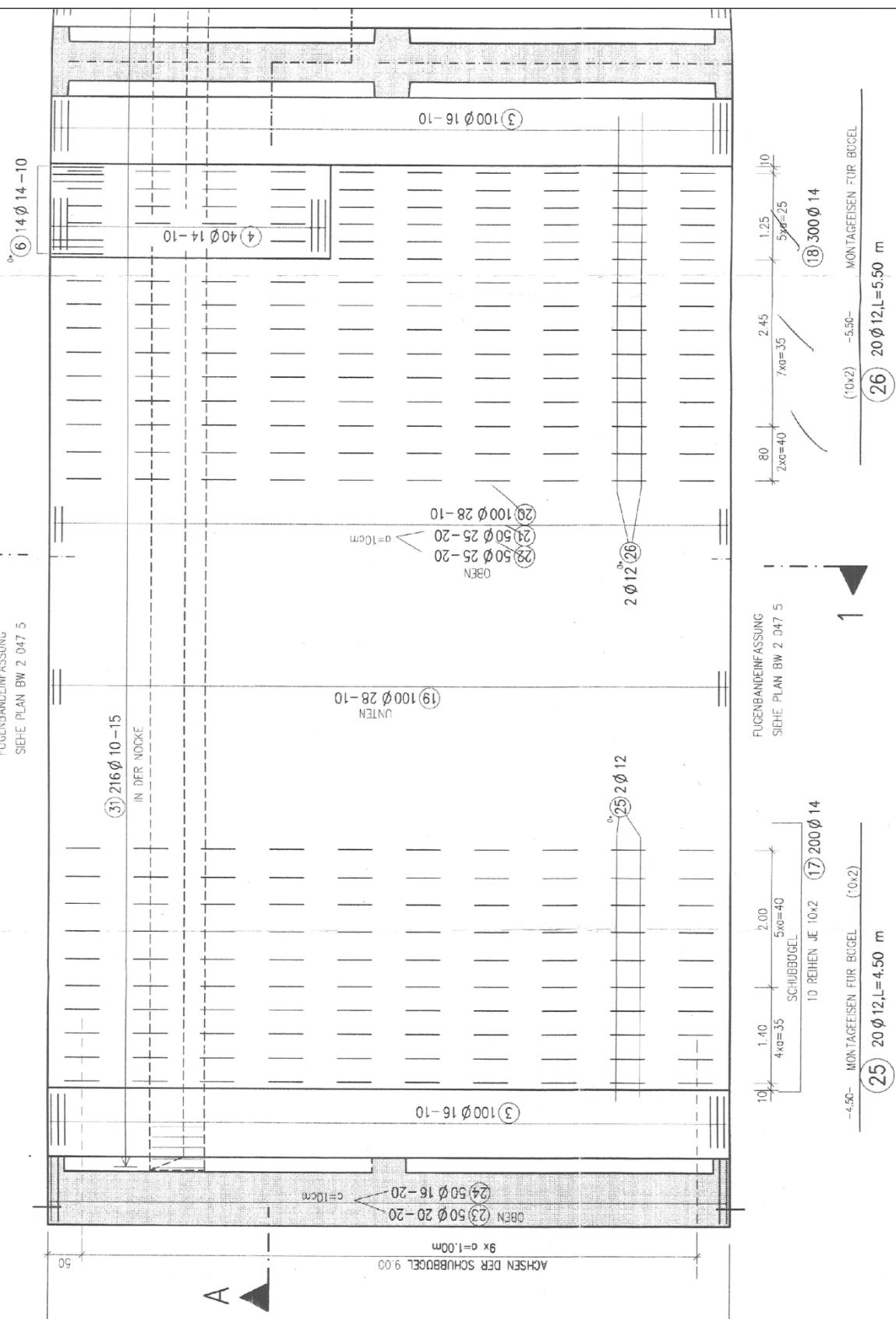


Bewehrung Wände:
Schnitt 3-3

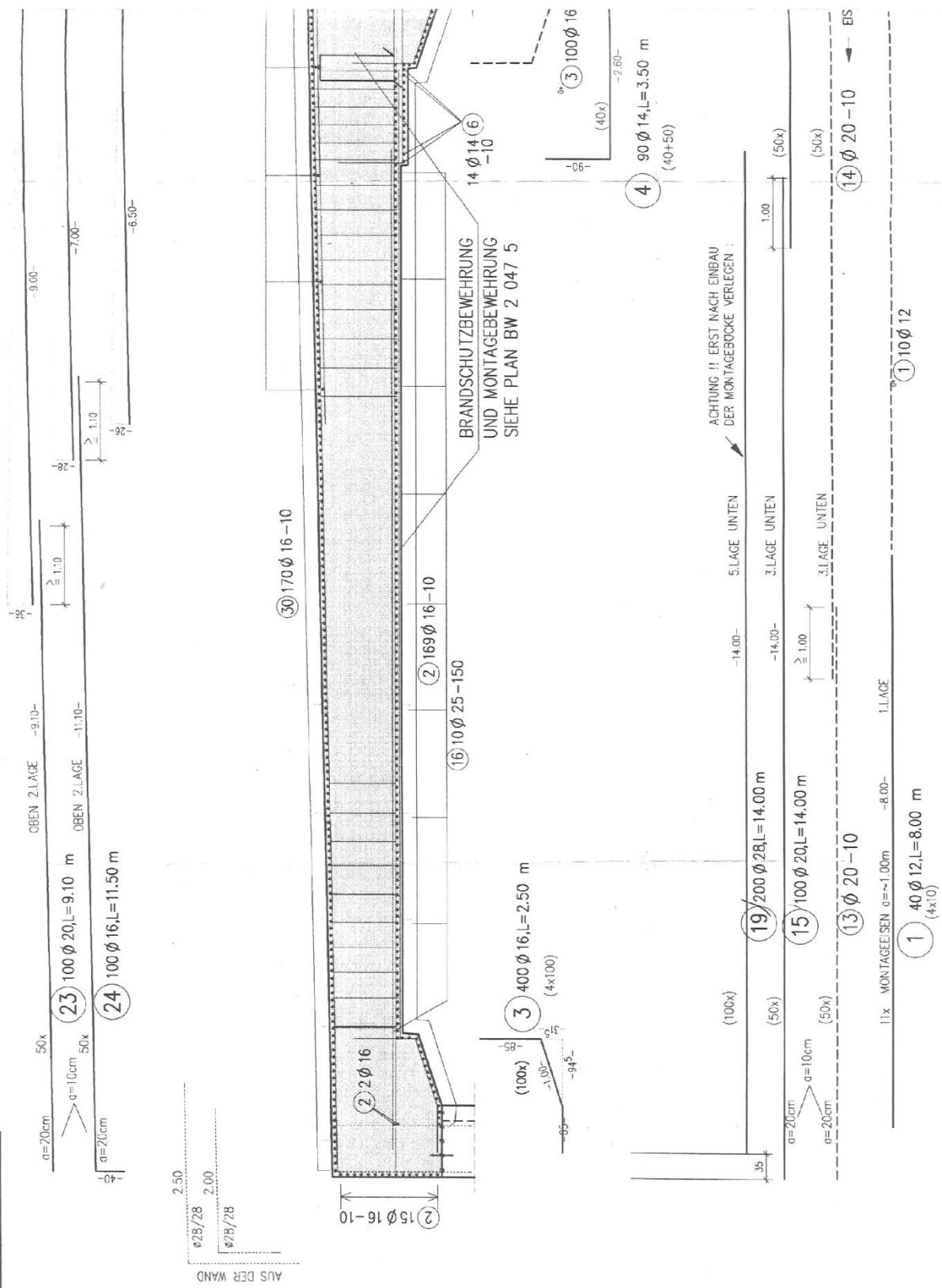
HORIZONTALSCHNITT 3-3

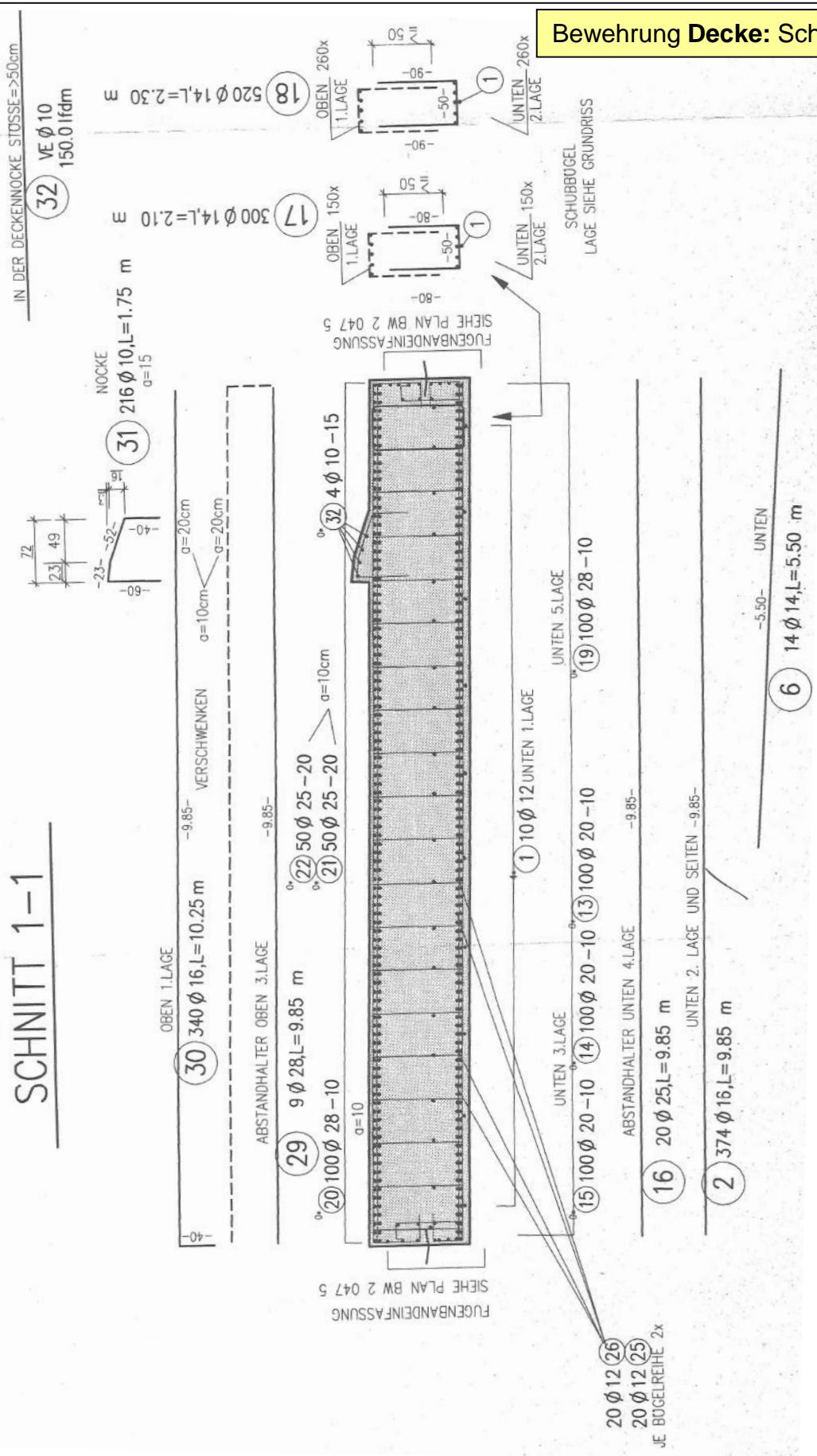


Bewehrung Decke: Draufsicht



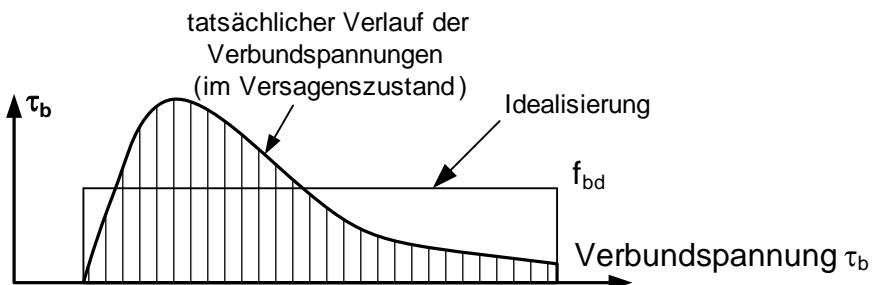
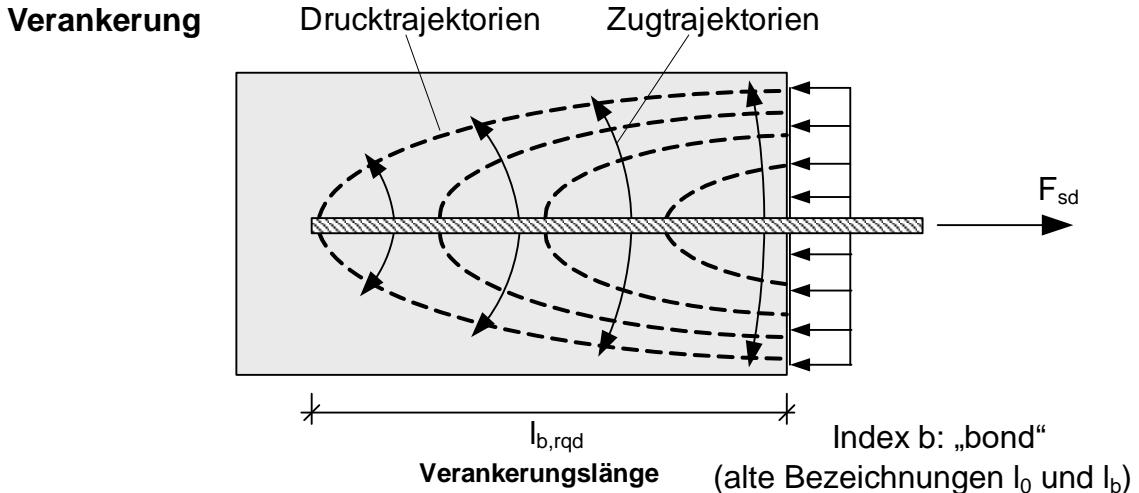
Bewehrung Decke: Schnitt A-A





Bewehrung Decke: Schnitt 1-1

b) Verankerung und Stöße der Bewehrung



Beton : **Verbundspannung f_{bd}** (rechnerisch)
(Schubspannung an der Staboberfläche)

Betonstahl: **Durchmesser d_s**
rechn. **Fließspannung f_{yd}** (Designwert)

Kräftegleichgewicht in Stabrichtung: Staboberfläche [1] [2] [3] [10]

a) aus Verbundspannung: $F_d = \tau_b \cdot \overbrace{\pi \cdot d_s \cdot l_b}^{\text{Staboberfläche}} = f_{bd} \cdot \pi \cdot d_s \cdot l_b$

b) aus Stabkraft bei Fließen: $F_d = f_{yd} \cdot A_s = f_{yd} \cdot \frac{\pi d_s^2}{4}$

Gleichgewicht: $f_{bd} \cdot \pi \cdot d_s \cdot l_b = f_{yd} \cdot \frac{\pi d_s^2}{4}$

$$\rightarrow l_{b,rqd,y} = \frac{d_s}{4} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{bd}}$$

$f_{bd} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot 2,25 \cdot f_{ctk;0,05} / \gamma_c$

mit: η_1 = Verbundbedingung und Lage der Stäbe

mäßige Verbundbedingungen: i.d.R. Faktor 0,7

η_2 = Berücksichtigung des Stabdurchmessers

Übliche Werte:
(für C20/25 bis C35/45)

$$\rightarrow l_{b,rqd,y} \approx 35 - 45 d_s$$

[11]

Verbundspannung f_{bd} in N/mm²

in [N/mm ²]	C12/15 ²⁾	C16/20	C20/25	C25/30	C30/37	C35/45	C40/50	C45/55	C50/60
$f_{bd}^{3)} 4)$ „guter Verbund“	1,7	2,0	2,3	2,7	3,0	3,4	3,7	4,0	4,3
$f_{bd}^{3)} 4)$ „mäßiger Verbund“	1,2	1,4	1,6	1,9	2,1	2,4	2,6	2,8	3,0

³⁾ mit $\gamma_c = 1,5$
⁴⁾ $\phi < 32$ mm

Einflussfaktoren

		Verankerungslänge wird erhöht	reduziert
a) höhere Betonfestigkeit			x
b) nicht ausgenutzter Bewehrungsstab			x
c) Endhaken, angeschweißte Querstäbe, Schlaufen (bei Zugstäben)			x
d) Querdruck (z.B. Auflager) bzw. Umschnürung			x
e) Querzug		x	
f) Ankerplatten, Muffen			x
g) Leichtbeton (Faktor η_l)		x	
h) Verbundbereich			
I (guter Verbund) → Basis			
II (mäßiger Verbund)		x (VB II)	

Zu (a) und (h): Einfluss Betonfestigkeit / Verbundbedingungen nach [11]

Grundwert der Verankerungslänge $l_{b,rqd,y}$ in cm									
Betonfestigkeitsklasse	Verbundbedingung	Stabdurchmesser ϕ [mm]							
		6	8	10	12	14	16	20	25
C12/15	gut	40	53	66	79	92	105	132	165
	mäßig	56	75	94	113	132	150	188	235
C16/20	gut	33	43	54	65	76	87	109	136
	mäßig	47	62	78	93	109	124	155	194
C20/25	gut	28	37	47	56	66	75	94	117
	mäßig	40	54	67	80	94	107	134	167
C25/30	gut	24	32	40	48	57	65	81	101
	mäßig	35	46	58	69	81	92	115	144
C30/37	gut	21	29	36	43	50	57	71	89
	mäßig	31	41	51	61	71	82	102	128
C35/45	gut	19	26	32	39	45	52	64	81
	mäßig	28	37	46	55	64	74	92	115
C40/50	gut	18	24	30	35	41	47	59	74
	mäßig	25	34	42	51	59	67	84	105
C45/55	gut	16	22	27	33	38	44	55	68
	mäßig	23	31	39	47	55	62	78	97
C50/60	gut	15	20	25	31	36	41	51	64
	mäßig	22	29	36	44	51	58	73	91

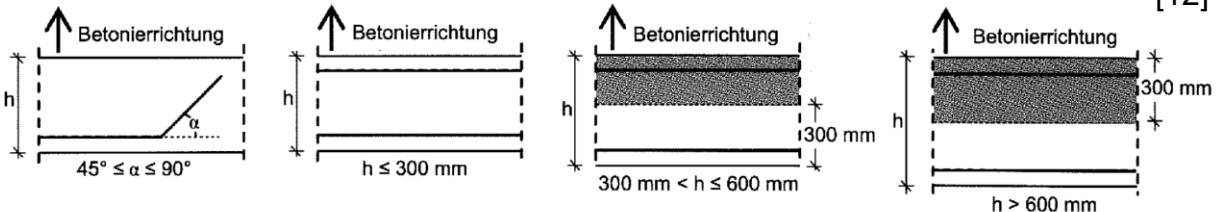
Verbundbedingungen

Die Qualität des Verbunds hängt wesentlich von der Oberflächengestalt des Betonstahls, den Abmessungen des Bauteils sowie der Lage und dem Neigungswinkel der Bewehrung während des Betonierens ab.

Verbundbereich I: gute Verbundeigenschaften

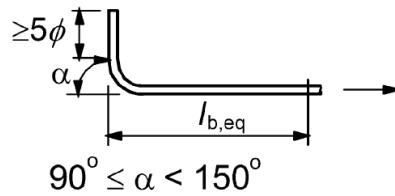
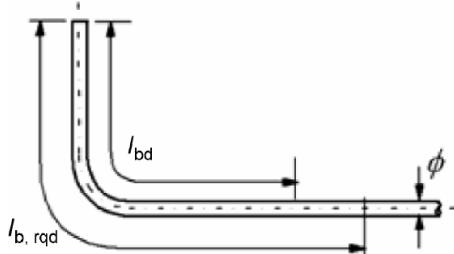
Verbundbereich II: mäßige Verbundeigenschaften

[12]



Mäßige Verbundbedingungen: grau markierter Bereich

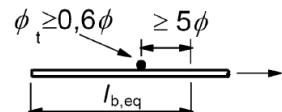
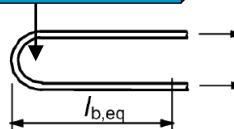
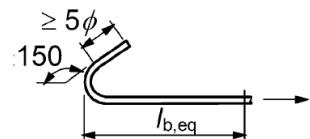
Zusätzliche Verankerungen zum geraden Stab nach Bild 8.1 [1]



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

b) Ersatzverankerungslänge für normalen Winkelhaken

Schlaufe mit $D_{min} = 15d_s$
→ $\alpha_1 = 0,5$

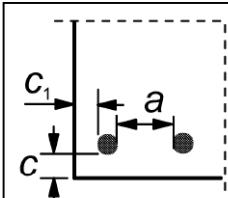


c) Ersatzverankerungslänge für normalen Haken

d) Ersatzverankerungslänge für normale Schlaufe

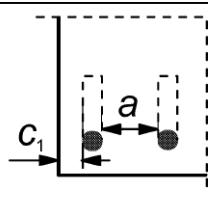
e) Ersatzverankerungslänge für angeschweißten Querstab

Werte für c_d für Balken und Platten nach Bild 8.3 [1]



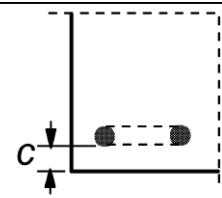
a) Gerade Stäbe

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



b) (Winkel) Haken

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



c) Schlaufen

$$c_d = c$$

Beiwerte $\alpha_1, \alpha_3, \alpha_4$, und α_5 nach Tabelle 8.2 [1, 3]

	1 Einflussfaktor	2 Verankerungsart	3 Bewehrungsstab unter Zug	4 unter Druck
1	Form der Stäbe	gerade	$\alpha_1 = 1,0$	$\alpha_1 = 1,0$
2		gebogen (siehe Bild 8.1 b), c) und d))	$\alpha_1 = 0,7$ für $c_d \geq 3\phi$ andernfalls $\alpha_1 = 1,0$ (siehe Bild 8.3 für c_d)	–
3	nicht an die Hauptbewehrung angeschweißte Querbewehrung	alle Arten	$\alpha_3 = 1 - K \cdot \lambda$ $0,7 \leq \alpha_3 \leq 1,0$	$\alpha_3 = 1,0$
4	angeschweißte Querbewehrung	alle Arten, Positionen und Größen sind in Bild 8.1e) angegeben	$\alpha_4 = 0,7$	$\alpha_4 = 0,7$
5	Querdruck	alle Arten	$\alpha_5 = 1 - 0,04p$ $0,7 \leq \alpha_5 \leq 1,0$	–

Dabei ist

$$\lambda = (\sum A_{st} - \sum A_{st,min}) / A_s;$$

ΣA_{st} die Querschnittsfläche der Querbewehrung innerhalb der Verankerungslänge l_{bd} ;

$\Sigma A_{st,min}$ die Querschnittsfläche der Mindestquerbewehrung:

$$\Sigma A_{st,min} = 0,25A_s \text{ für Balken und } \Sigma A_{st,min} = 0 \text{ für Platten};$$

A_s die Querschnittsfläche des größten einzelnen verankerten Stabs;

K der Wert nach Bild 8.4;

p der Querdruck [N/mm^2] im Grenzzustand der Tragfähigkeit innerhalb l_{bd} .

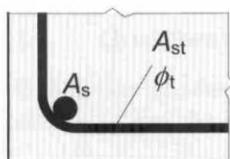
Bei Schlaufenverankerungen mit $c_d > 3\phi$ und mit Biegerollendurchmessern $D \geq 15\phi$ darf $\alpha_1 = 0,5$ angesetzt werden.

Bei direkter Lagerung darf $\alpha_5 = 2/3$ gesetzt werden.

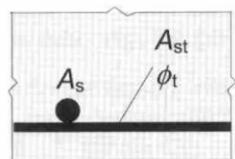
Falls eine allseitige, durch Bewehrung gesicherte Betondeckung von mindestens 10ϕ vorhanden ist, darf $\alpha_5 = 2/3$ angenommen werden. Dies gilt nicht für Übergreifungsstoße mit einem Achsabstand der Stöße von $s \leq 10\phi$.

Der Beiwert α_5 ist auf 1,5 zu erhöhen, wenn rechtwinklig zur Bewehrungsebene ein Querzug vorhanden ist, der eine Rissbildung parallel zur Bewehrungsstabachse im Verankerungsbereich erwarten lässt. Wird bei vorwiegend ruhenden Einwirkungen die Breite der Risse parallel zu den Stäben auf $w_k \leq 0,2$ mm im GZG begrenzt, darf auf diese Erhöhung verzichtet werden.

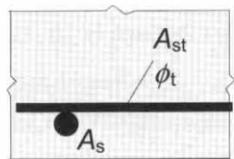
ANMERKUNG Verankerungen mit gebogenen Druckstäben sind unzulässig (siehe (NCI) 8.4.1 (3)).



$$K = 0,1$$



$$K = 0,05$$



$$K = 0$$

$\alpha_1 = 0,7$ für $c_d < 3d_s$ darf angesetzt werden, wenn Querdruck oder eine enge Verbügelung vorhanden ist (vgl. S. 122 [3])

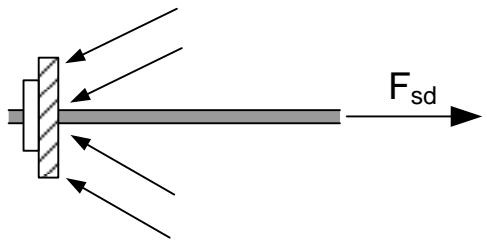
Der Beiwert α_2 ist i.d.R. mit 1,0 anzusetzen und daher aus Tabelle 8.2 entfernt. (vgl. S. 122 [3])

Für Druckstäbe darf die günstige Wirkung eines Querdrucks nicht berücksichtigt werden.
→ $\alpha_5 = 1,0$ (vgl. S. 122 [3])

Werte für K für Balken und Platten nach Bild 8.4 [1]

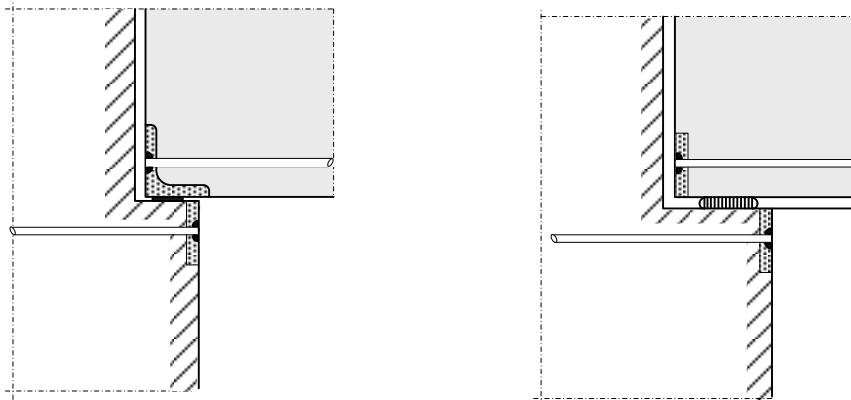
Platten zur Lasteinleitung für (erhöhte) Betonspannung auslegen

- Rückhängebewehrung
- Spaltzugbewehrung vorsehen



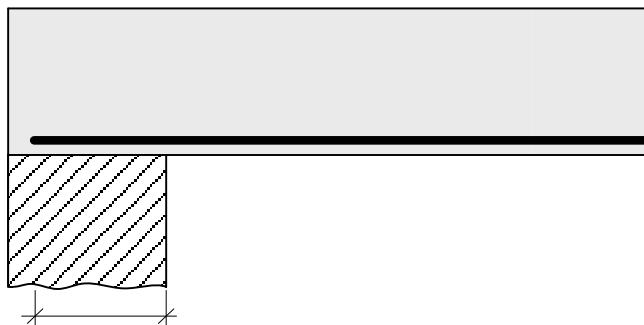
Beispiele:

An die Gurtbewehrung angeschweißte Stahlprofile bei sehr kurzen Auflagerlängen:



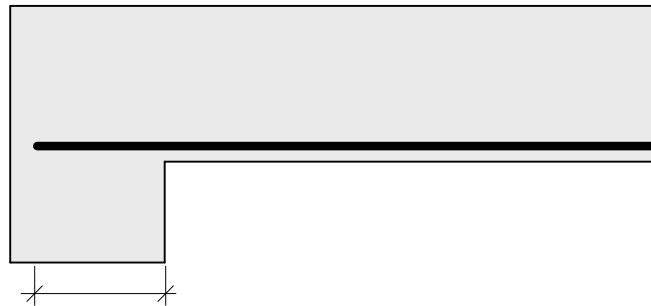
Zu (d): Querdruck am Auflager

direktes Auflager Zwischenauflager



$$l_{bd,dir} = \frac{2}{3} l_{bd} \geq 6,7 d_s$$

indirektes Auflager



$$l_{bd,ind} = l_{bd} \geq 10 d_s$$

Zusammenstellung zur Verankerung nach [1] [2] [3]

Allgemein:

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,rqd,y} \cdot \frac{A_{s,erf}}{A_{s,vorh}} \geq l_{b,min}$$

Verankerungsart Querbewehrung Querdruck Ausnutzung
 Mindestbetondeckung angeschweißte Querstäbe

Vereinfacht gilt nach EC 2 + NA der Bemessungswert $l_{b,eq}$

(für die Verankerungsarten b) bis e) nach Bild 8.1 (siehe Seite 28))

$$l_{bd} = l_{b,eq} = \alpha_1 \cdot \alpha_4 \cdot l_{b,rqd,y} \cdot \frac{A_{s,erf}}{A_{s,vorh}} \geq l_{b,min}$$

Mindestverankerungslänge:

Zugstäbe:

$$l_{b,min} = \max \begin{cases} 0,3 \cdot \alpha_1 \cdot \alpha_4 \cdot l_{b,rqd,y} \\ 10 \cdot d_s \end{cases}$$

Druckstäbe:

$$l_{b,min} = \max \begin{cases} 0,6 \cdot l_{b,rqd,y} \\ 10 \cdot d_s \end{cases}$$

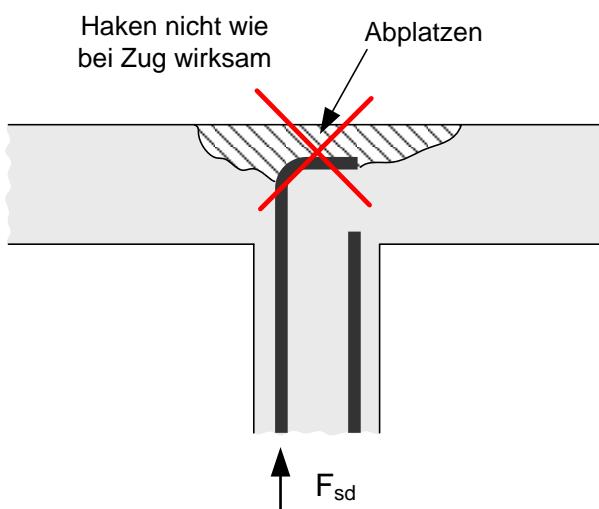
Direktes Auflager:

$$l_{bd,dir} = \frac{2}{3} \cdot l_{bd} \geq 6,7 \cdot d_s$$

Druckstäbe:

$$\text{bzw. } l_{b,eq,dir} = \frac{2}{3} \cdot l_{b,eq} \geq 6,7 \cdot d_s$$

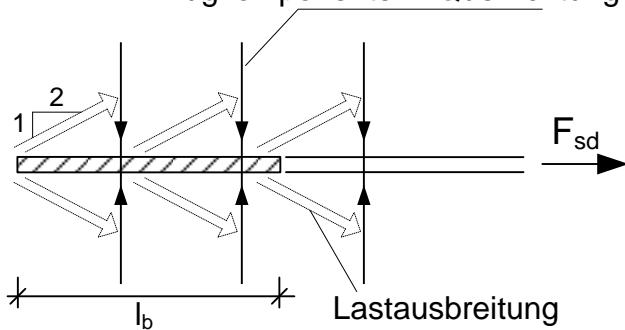
- Achtung im Bezug auf α_1 (z. B. bei Schlaufen und Haken → Abplatzen)
- Ableitung von Kräften an angeschweißten Querstäben beachten



Querbewehrung im Verankerbereich

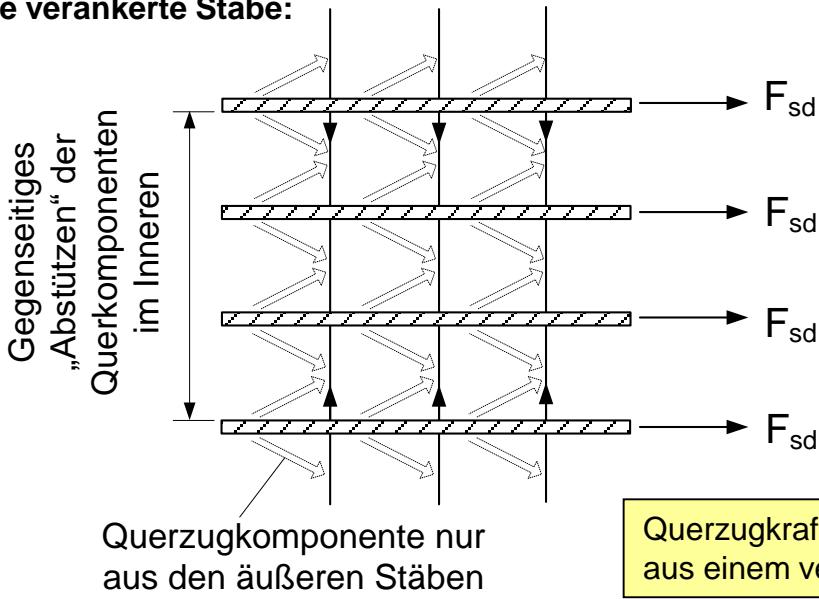
Grundprinzip:

Durch Bewehrung abzudeckende
Zugkomponente in Querrichtung



$$\text{Querzugkraft} \approx \frac{1}{4} F_{sd}$$

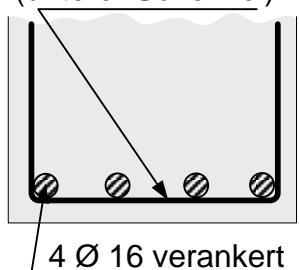
Mehrere verankerte Stäbe:



$$\text{Querzugkraft} \approx \frac{1}{4} F_{sd}, \text{ also aus einem verankerten Stab}$$

Beispiel:

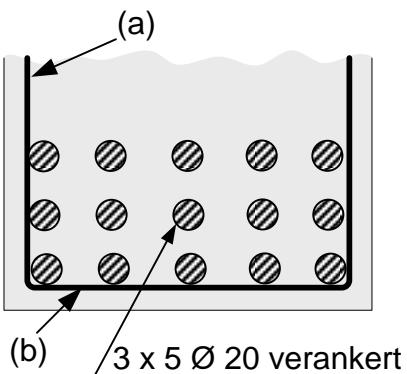
Querzugbewehrung
(unterer Schenkel)



Querzugbewehrung:

$$2,01 \cdot \frac{1}{4} = 0,5 \text{ cm}^2 \\ (\text{z.B. } 1 \text{ Bü } \varnothing 8 \triangleq 0,503 \text{ cm}^2)$$

Beispiel:



Querzugbewehrung:

a) vertikal (für eine Lage, also 5 Ø20)

$$5 \cdot 3,14 \cdot \frac{1}{4} = 3,93 \text{ cm}^2$$

z.B. 4 Bü Ø8, 2-schnittig

$$(4 \cdot 2 \cdot 0,503 = 4,02 \text{ cm}^2)$$

b) horizontal (für einen Stab je Lage, also 3 Ø20)

$$3 \cdot 3,14 \cdot \frac{1}{4} = 2,36 \text{ cm}^2$$

z.B. 5 Bü Ø8, (1 Schenkel)

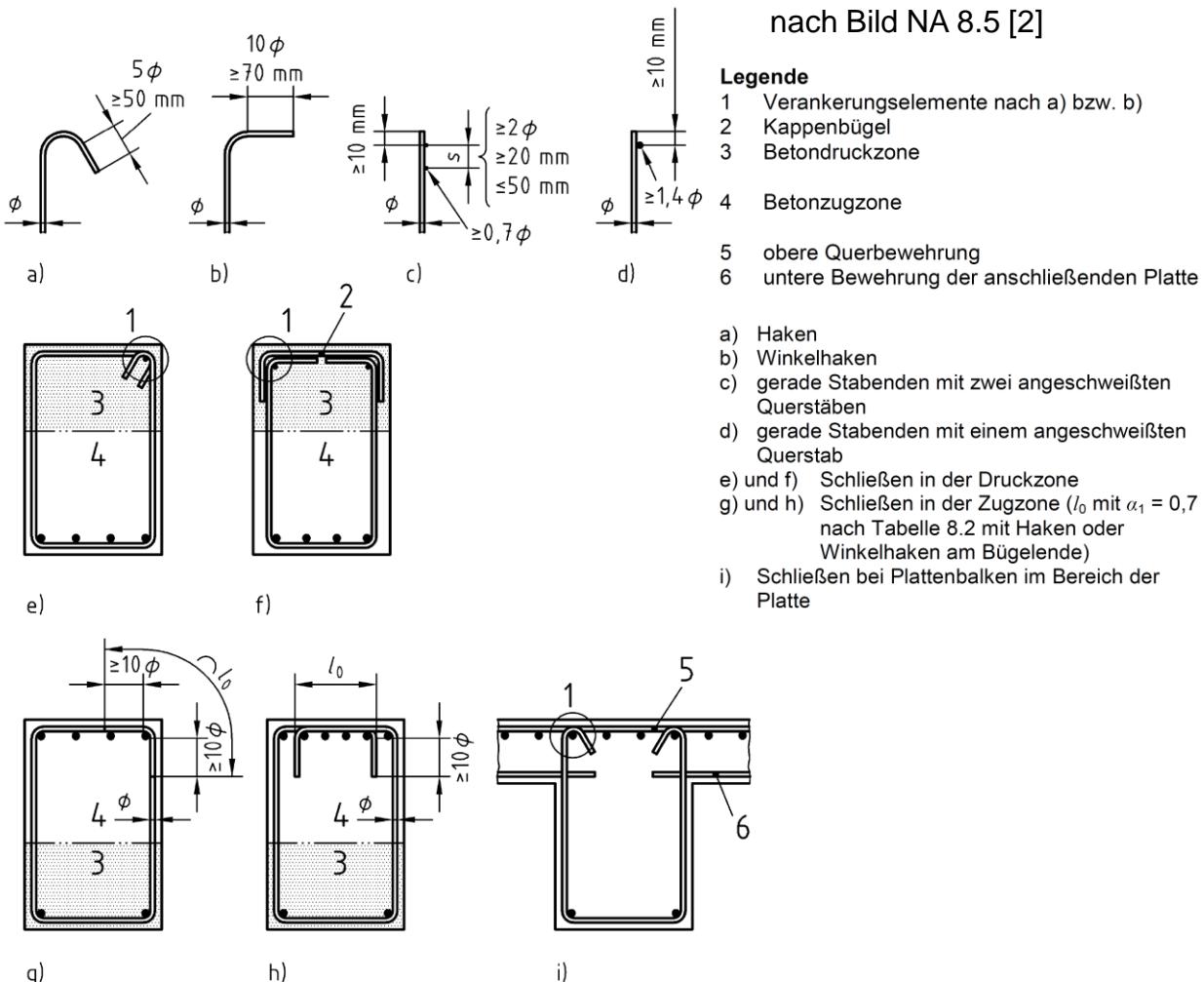
$$(5 \cdot 0,503 = 2,52 \text{ cm}^2)$$

→ maßgebend:

horizontaler, also unterer Schenkel (5 Bü Ø8)

Verankerung von Bügeln und Querkraftbewehrung

- Reduzierte Hakenlängen bei Querkraftbeanspruchung, nicht bei (dominanter) Torsion, dann Übergreifung erforderlich



Bewehrungsstoß

Arten

Indirekte Verbindung über den Beton

- Übergreifungsstoß (übliche, i. d. R. kostengünstigste Variante)

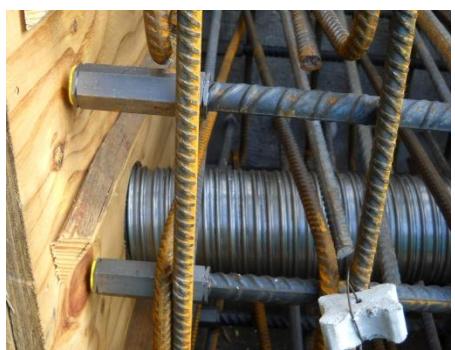
Direkte Verbindungen

- Muffenverbindungen (bei speziellen Anschlüssen, Platzproblemen, hohen Bewehrungsgraden über 4 - 5%)
- Schweißverbindungen (speziell nach DIN EN ISO 17660-1, ehemals DIN 4099-1)

Übergreifungsstoß

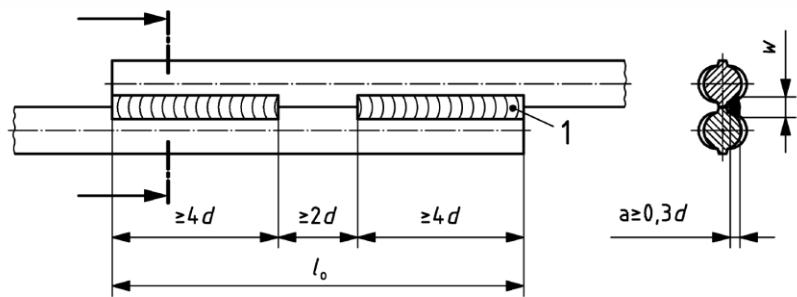


Muffenverbindungen

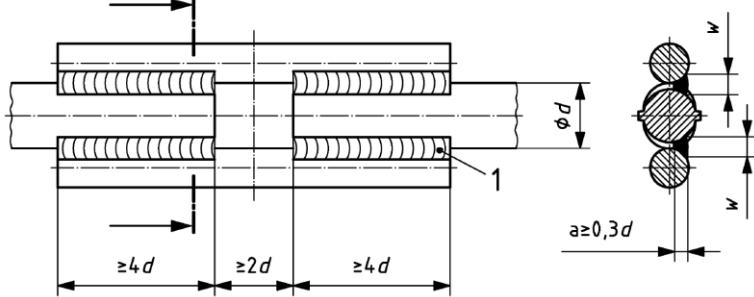


Schweißverbindungen

Überlappstoß



Laschenstoß für tragende Schweißverbindungen



Legende

1 Schweißnaht

a Kehlnahldicke

d Nenndurchmesser des dünneren der beiden zu schweißenden Stäbe

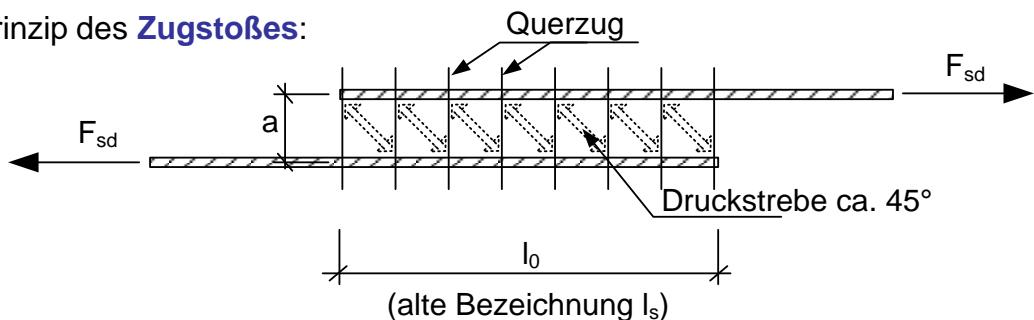
l_0 Gesamtlänge der Überlappung

w Schweißnahtbreite

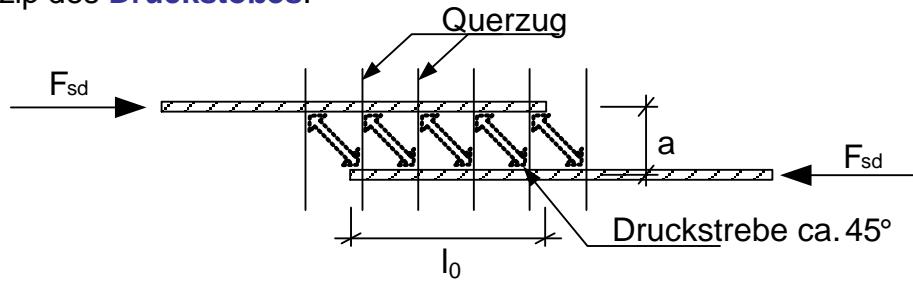
Zum Übergreifungsstoß:

Übliche Formen des Stoßes

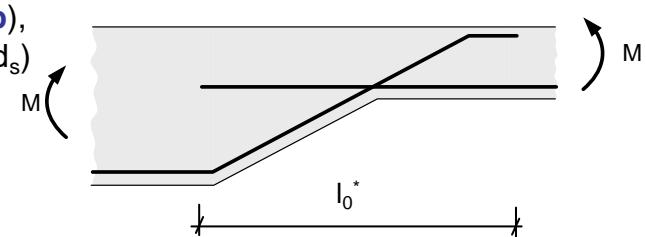
- Grundprinzip des **Zugstoßes**:



- Grundprinzip des **Druckstoßes**:



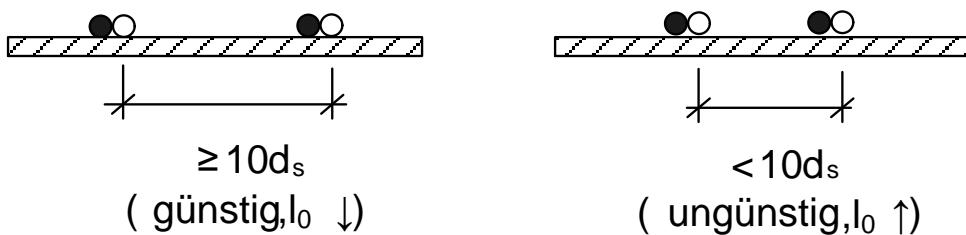
- Abstand a möglichst gering (**Stab an Stab**), sonst $l_0^* = l_0 + a$ (Verlängerung ab $\approx a \geq 4d_s$)



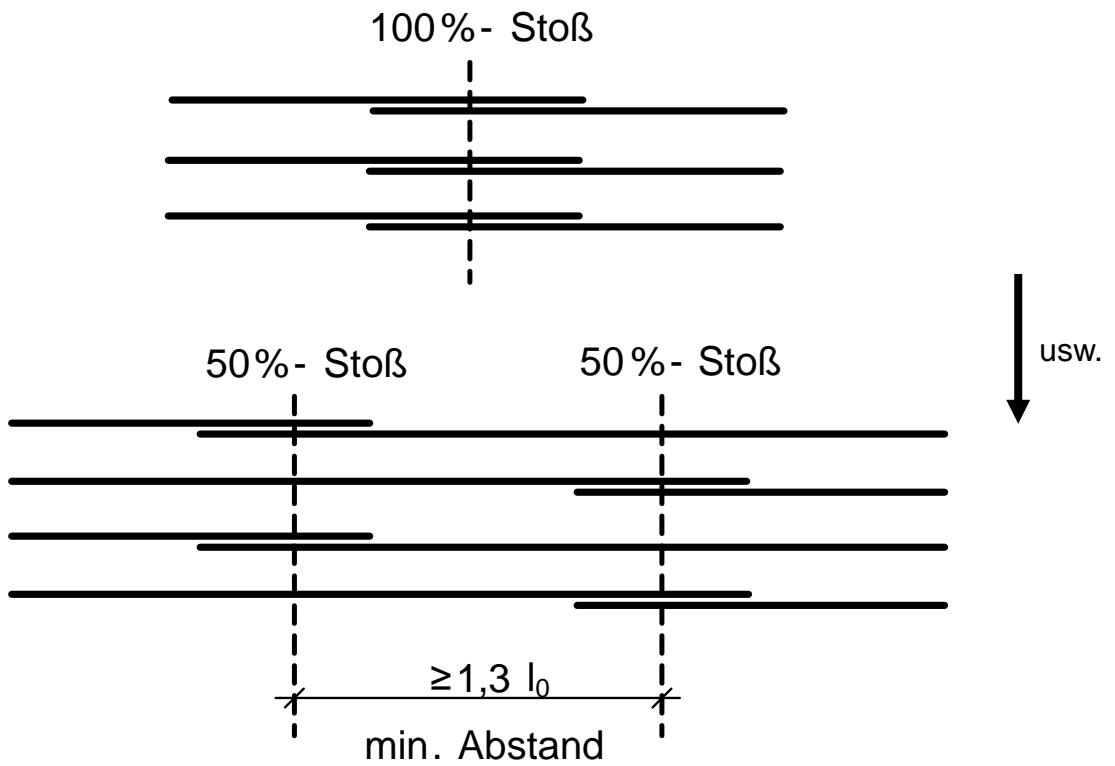
- **Querbewehrung** zur Aufnahme der Querzugkräfte erforderlich, günstigerweise außen am Stoß (äußere Lage) und bei hoher Beanspruchung auch in das Bauteil hinein rückverankert

- **Übergreifungslängen** hängen ab von:

- Verankerungslänge l_{bd}
(also Betonfestigkeitsklasse, Verbundbereiche, Haken- oder Schlaufenausbildung, Stabausnutzung, Querdruck, Zug- bzw. Druckstab, ...)
- Abstand zu stoßender Stäbe:



- **Versatz** von Stößen:

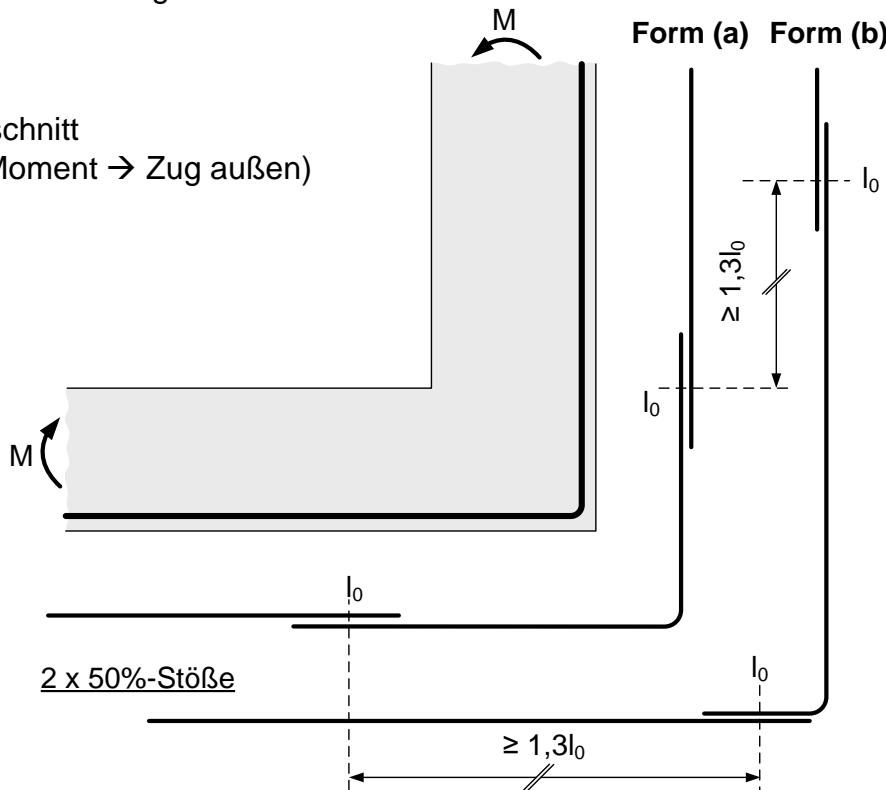


- Grundsätzlich sollten Stöße **nicht in hochbeanspruchten Bereichen** liegen und – falls sinnvoll möglich – nicht als 100% - Stoß ausgebildet sein.

- Bei **mehrlagiger Bewehrung** Stöße zu 50% - Stöße versetzen, sonst hohe Querbewehrung erforderlich

Beispiel:

Tunnelquerschnitt
(negatives Moment → Zug außen)



Berechnung von l_0 :

[1] [2]

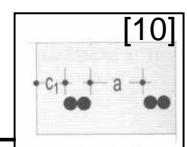
$$l_0 = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd} \geq l_{0,min} \begin{cases} 0,3 \cdot \alpha_1 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd,y} \\ \geq 15d_s \\ \geq 200\text{mm} \end{cases}$$

$$\text{mit: } l_{b,rqd} = l_{b,rqd,y} \cdot \frac{A_{s,erf}}{A_{s,vorh}}$$

Vereinfacht ergibt sich (vgl. S. 31):

[10]

$$l_0 = \alpha_1 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd} \geq l_{0,min}$$



Beiwert α_6 für die Übergreifungslänge: [2]

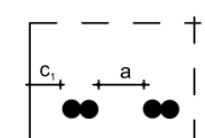
Stoß	Stab- ϕ	Stoßanteil einer Bewehrungslage		Abstände a und c_1
		≤ 33 %	> 33 %	
Zug	< 16 mm	1,2 ^a	1,4 ^a	[10]
	≥ 16 mm	1,4 ^a	2,0 ^b	
Druck	alle	1,0	1,0	

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 $\alpha_6 = 1,4$

Auswertung der Verankerungs- und Übergreifungslängenanforderungen in **Tabellen zur praktischen Anwendung (nach Eurocode 2)** für gute Verbundbedingungen [35]

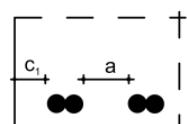
Verankerungslängen l_{bd} und Übergreifungslängen l_0													
VB I	B500S	Zugstäbe							Druckstäbe			Bemerkungen	
		Stoßanteil:		$\leq 33\%$		$> 33\%$							
		direkte Lagerung, sonst		$a \geq 8\varnothing_s$ und $c_1 \geq 4\varnothing_s$	$a < 8\varnothing_s$ oder $c_1 < 4\varnothing_s$	$a \geq 8\varnothing_s$ und $c_1 \geq 4\varnothing_s$	$a < 8\varnothing_s$ oder $c_1 < 4\varnothing_s$	$l_{b,min}$	$l_{0,min}$	$l_0 = l_{bd}$			
\varnothing_s	$l_{b,rqd}$	$l_{b,min}$	$l_{0,min}$	$l_0 = l_{bd}$	l_0	l_0	l_0	$l_{b,min}$	$l_{0,min}$	$l_0 = l_{bd}$			
[mm]	[cm]			[cm]				[cm]					
C20/25	6	28	8	20	28	34	28	39	17	20	28	erf. $A_s =$ vorh. A_s Formfaktor / Form der Stäbe: gerade Stabenden 1,0	
	8	37	11	20	37	45	37	52	22	20	37		
	10	47	14	20	47	56	47	66	28	20	47		
	12	56	17	20	56	67	56	79	34	20	56		
	14	66	22	21	66	79	66	92	39	21	66		
	16	75	28	24	75	105	105	150	45	24	75		
	20	94	28	30	94	131	131	187	56	30	94		
	25	117	35	38	117	164	164	234	70	38	117		
	28	131	39	42	131	184	184	262	79	42	131		
C30/37	6	21	6	20	21	26	21	30	13	20	21	Haken / Winkelhaken* 0,7	
	8	29	9	20	29	34	29	40	17	20	29		
	10	36	11	20	36	43	36	50	21	20	36		
	12	43	13	20	43	51	43	60	26	20	43		
	14	50	15	21	50	60	50	70	30	21	50		
	16	57	17	24	57	80	80	114	34	24	57		
	20	72	21	30	72	100	100	143	43	30	72		
	25	89	27	38	89	125	125	179	54	38	89		
	28	100	30	42	100	140	140	200	60	42	100		
C35/45	6	19	6	20	(19)	23	(19)	27	12	20	(19)	angeschweizte Querstäbe* 0,5	
	8	26	8	20	26	31	26	36	15	20	26		
	10	32	10	20	32	39	32	45	19	20	32		
	12	39	12	20	39	46	39	54	23	20	39		
	14	45	14	21	45	54	45	63	27	21	45		
	16	52	15/16	24	52	72	72	103	31	24	52		
	20	65	19/20	30	65	90	90	129	39	30	65		
	25	81	24/25	38	81	113	113	161	48	38	81		
	28	90	27/28	42	90	126	126	181	54	42	90		
C40/50	6	18	5/6	20	(18)	21	(18)	25	11	20	(18)	Schlaufen* 0,5	
	8	24	7/8	20	24	28	24	33	14	20	24		
	10	30	9/10	20	30	35	30	41	18	20	30		
	12	35	11/12	20	35	43	35	50	21	20	35		
	14	41	12/14	21	41	50	41	58	25	21	41		
	16	47	14/16	24	47	66	66	94	28	24	47		
	20	59	18/20	30	59	83	83	118	35	30	59		
	25	74	22/25	38	74	103	103	148	44	38	74		
	28	83	25/28	42	83	116	116	165	50	42	83		
C50/60	6	15	5/6	20	(15)	(18)	(15)	21	9	20	(15)	* geometrische Ausbildung nach DIN EN 1992-1-1, nur bei Zugstäben	
	8	20	6/8	20	20	24	20	28	12	20	20		
	10	25	8/10	20	25	31	25	36	15	20	25		
	12	31	9/12	20	31	37	31	43	18	20	31		
	14	36	11/14	21	36	43	36	50	21	21	36		
	16	41	12/16	24	41	57	57	81	24	24	41		
	20	51	15/20	30	51	71	71	102	31	30	51		
	25	64	19/25	38	64	89	89	127	38	38	64		
	28	71	21/28	42	71	100	100	142	43	42	71		



c_1 : Betonüberdeckung
a: lichter Abstand
der Bewehrung

Auswertung der Verankerungs- und Übergreifungslängenanforderungen in **Tabellen zur praktischen Anwendung (nach Eurocode 2)** für mäßige Verbundbedingungen [35]

Verankerungslängen l_{bd} und Übergreifungslängen l_0													
VB II	B500S	Zugstäbe							Druckstäbe			Bemerkungen	
		Stoßanteil:		$\leq 33\%$		$> 33\%$							
		direkte Lagerung, sonst		$a \geq 8\varnothing_s$ und $c_1 \geq 4\varnothing_s$	$a < 8\varnothing_s$ oder $c_1 < 4\varnothing_s$	$a \geq 8\varnothing_s$ und $c_1 \geq 4\varnothing_s$	$a < 8\varnothing_s$ oder $c_1 < 4\varnothing_s$	$l_{b,min}$	$l_{0,min}$	$l_0 = l_{bd}$			
\varnothing_s	$l_{b,rqd}$	$l_{b,min}$	$l_{0,min}$	$l_0 = l_{bd}$	l_0	l_0	l_0	$l_{b,min}$	$l_{0,min}$	$l_0 = l_{bd}$			
[mm]	[cm]			[cm]				[cm]					
C20/25	6	40	8	20	40	48	40	56	24	20	40	erf. $A_s =$ vorh. A_s	
	8	54	11	20	54	64	54	75	32	20	54		
	10	67	14	20	67	80	67	94	40	20	67		
	12	80	17	24	80	96	80	112	48	24	80		
	14	94	22	28	94	112	94	131	56	28	94		
	16	107	28	32	107	150	150	214	64	32	107		
	20	134	28	40	134	187	187	268	80	40	134		
	25	167	35	50	167	234	234	335	100	50	167		
	28	187	39	56	187	262	262	375	112	56	187		
C30/37	6	31	6	20	31	37	31	43	18	20	31	Formfaktor / Form der Stäbe: gerade Stabenden 1,0	
	8	41	9	20	41	49	41	57	25	20	41		
	10	51	11	20	51	61	51	72	31	20	51		
	12	61	13	20	61	74	61	86	37	20	61		
	14	72	15	21	72	86	72	100	43	21	72		
	16	82	17	25	82	114	114	163	49	25	82		
	20	102	21	31	102	143	143	204	61	31	102		
	25	128	27	38	128	179	179	255	77	38	128		
	28	143	30	43	143	200	200	286	86	43	143		
C35/45	6	28	6	20	28	33	28	39	17	20	28	Haken / Winkelhaken* angeschweißte Querstäbe* 0,5	
	8	37	8	20	37	44	37	52	22	20	37		
	10	46	10	20	46	55	46	65	28	20	46		
	12	55	12	20	55	66	55	77	33	20	55		
	14	65	14	21	65	77	65	90	39	21	65		
	16	74	15/16	24	74	103	103	147	44	24	74		
	20	92	19/20	30	92	129	129	184	55	30	92		
	25	115	24/25	38	115	161	161	230	69	38	115		
	28	129	27/28	42	129	181	181	258	77	42	129		
C40/50	6	25	5/6	20	25	30	25	35	15	20	25	Schlaufen* 150° 0,5	
	8	34	7/8	20	34	40	34	47	20	20	34		
	10	42	9/10	20	42	51	42	59	25	20	42		
	12	51	11/12	20	51	61	51	71	30	20	51		
	14	59	12/14	21	59	71	59	83	35	21	59		
	16	67	14/16	24	67	94	94	135	40	24	67		
	20	84	18/20	30	84	118	118	169	51	30	84		
	25	105	22/25	38	105	148	148	211	63	38	105		
	28	118	25/28	42	118	165	165	236	71	42	118		
C50/60	6	22	5/6	20	22	26	22	31	13	20	22	* geometrische Ausbildung nach DIN EN 1992-1-1, nur bei Zugstäben	
	8	29	6/8	20	29	35	29	41	17	20	29		
	10	36	8/10	20	36	44	36	51	22	20	36		
	12	44	9/12	20	44	52	44	61	26	20	44		
	14	51	11/14	21	51	61	51	71	31	21	51		
	16	58	12/16	24	58	81	81	116	35	24	58		
	20	73	15/20	30	73	102	102	145	44	30	73		
	25	91	19/25	38	91	127	127	182	55	38	91		
	28	102	21/28	42	102	142	142	203	61	42	102		



c_s : Betonüberdeckung
a: lichter Abstand
der Bewehrung

Auswertung der Übergreifungslängenanforderungen in **Tabellen zur praktischen Anwendung (nach DIN 1045-1)** [25]

aus [13] bzw. www.isb-ev.de → Arbeitshilfen → Tragwerksplaner → Bemessungshilfen

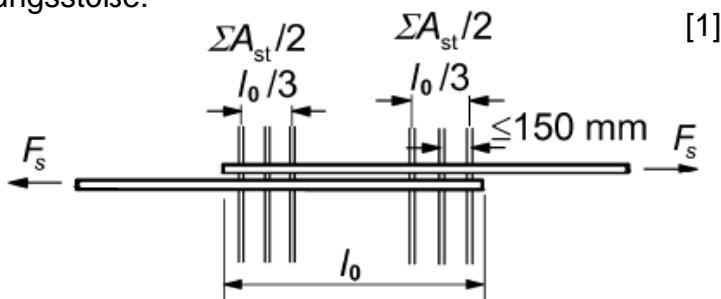
3.1.4 b Übergreifungslängen l_s Betonfestigkeitsklassen C30/37, C35/45, C40/45 und C45/55											
In den Tabellen des Abschnittes 3.1.4 gilt: $a_{s,v,erf} = 1,0$											
In den Tabellen des Abschnittes 3.1.4 gilt: $\frac{a_{s,v,erf}}{a_{s,v,korb}} = 1,0$											
$l_{s,min}$ (siehe 3.1.1 beachten!)											
Erforderliche Übergreifungslänge l_s für Stahlstahl (cm)											
Anteil der gestoßenen Stäbe ≤ 30% Anteil der gestoßenen Stäbe > 30%											
$s \geq 10 d_s$ und $s_0 \geq 5 d_s$ $s \leq 10 d_s$ oder $s_0 \geq 5 d_s$											
Beton- festigkeits- klasse	Durch- messer d_s (mm)	VB I	VB II								
C 12/15	6	41	59	49	70	41	69	58	82	6	22
	8	55	78	66	94	55	78	77	109	8	29
	10	68	98	82	117	68	98	96	136	10	37
	12	82	117	98	140	82	117	115	164	12	44
	14	96	136	115	164	96	136	134	191	14	61
	16	109	156	153	218	153	218	218	311	20	73
	20	136	195	191	272	191	272	272	389	25	91
	25	170	243	238	340	238	340	340	486	28	102
	28	191	272	267	381	267	381	381	544	32	116
	32	218	311	305	435	305	435	435	622	40	158
C 16/20	40	286	422	414	591	414	591	591	844	50	221
	50	415	592	580	829	580	829	829	1184	6	20
	6	33	47	40	56	33	47	46	66	8	26
	8	44	63	63	75	44	63	61	87	10	32
	10	55	78	66	94	55	78	77	109	12	39
	12	66	94	79	112	66	94	92	131	14	45
	14	77	109	92	131	77	109	107	153	16	62
	16	87	125	122	174	122	174	174	249	20	64
	20	109	156	153	218	153	218	218	311	25	80
	25	136	195	191	272	191	272	272	389	28	90
C 20/25	28	153	218	214	306	214	306	305	435	32	103
	32	174	249	244	348	244	348	348	497	40	139
	40	237	338	331	473	331	473	473	676	50	195
	50	322	474	464	663	464	663	663	947	6	20
	6	29	41	35	49	29	41	40	57	8	24
	8	38	55	46	65	38	55	53	76	10	30
	10	48	68	57	82	48	68	67	96	12	36
	12	57	82	69	98	57	82	80	114	14	42
	14	67	95	80	114	67	95	93	133	16	48
	16	76	109	106	152	106	152	152	217	20	59
C 25/30	20	95	136	133	190	133	190	190	271	25	74
	25	119	169	166	237	166	237	237	338	28	83
	28	133	190	186	265	186	265	265	379	32	95
	32	162	217	212	303	212	303	303	433	40	128
	40	206	294	288	411	288	411	411	688	50	180
	50	289	412	404	577	404	577	577	824	6	20
	6	25	36	29	42	25	35	34	49	8	26
	8	33	47	39	56	33	47	46	65	10	28
	10	41	58	49	70	41	58	57	81	12	33
	12	49	70	58	83	49	70	68	97	14	39
C C 25/30	14	57	81	68	97	57	81	79	113	14	39
	16	65	93	91	129	91	129	129	185	16	44
	20	81	116	113	162	113	162	162	231	20	55
	25	101	144	141	202	141	202	202	288	25	68
	28	113	162	158	226	158	226	226	323	28	77
C C 25/30	32	129	185	181	258	181	258	258	369	32	87
	40	176	251	246	351	246	351	351	601	40	119
	50	246	351	344	491	344	491	491	702	50	166

Übergreifungslängen l_s Betonfestigkeitsklassen C80/95, C90/105, C100/115		Übergreifungslängen l_s Betonfestigkeitsklassen C50/60, C55/67, C60/75 und C70/85											
In den Tabellen des Abschnittes 3.1.4 gilt: $\frac{a_{s,v,erf}}{a_{s,v,worb}} = 1,0$		In den Tabellen des Abschnittes 3.1.4 gilt: $\frac{a_{s,v,erf}}{a_{s,v,worb}} = 1,0$											
I _{s,min} (siehe 3.1.1) beachten!		I _{s,min} (siehe 3.1.1) beachten!											
Erfordernische Übergreifungslänge l_s für Stahlstahl [cm]													
Beton- festigkeits- klasse	Durch- messer d_s (mm)	Anteil der gestoßenen Stäbe $\leq 30\%$	Anteil der gestoßenen Stäbe $\geq 30\%$	Anteil der gestoßenen Stäbe $\geq 30\%$	Anteil der gestoßenen Stäbe $\leq 30\%$	Anteil der gestoßenen Stäbe $\leq 5 d_s$	Anteil der gestoßenen Stäbe $> 5 d_s$	Anteil der gestoßenen Stäbe $\leq 5 d_s$	Anteil der gestoßenen Stäbe $> 5 d_s$	Anteil der gestoßenen Stäbe $\leq 5 d_s$	Anteil der gestoßenen Stäbe $> 5 d_s$	Anteil der gestoßenen Stäbe $\leq 5 d_s$	Anteil der gestoßenen Stäbe $> 5 d_s$
$s \geq 10 d_s$ und $s_0 \geq 5 d_s$		$s < 10 d_s$ oder $s_0 < 5 d_s$		VBl		VBl		VBl		VBl		VBl	
C 80/95	6	20	20	24	20	20	20	20	28	20	22	20	22
	8	20	26	32	20	26	26	37	31	44	26	37	36
	10	23	33	28	39	33	32	46	31	44	37	53	44
	12	28	39	33	47	28	39	55	14	36	51	43	36
	14	32	46	39	55	32	46	64	16	41	58	81	51
	16	37	52	51	73	51	73	104	20	51	73	102	71
	20	46	64	91	64	91	91	130	28	71	102	100	116
	25	57	81	80	114	80	114	162	40	110	158	220	102
	28	64	91	89	127	89	127	127	50	165	221	216	102
	32	73	104	102	145	102	145	208	6	20	22	20	20
C 90/105	40	99	141	138	197	197	197	282	10	25	36	30	29
	50	139	198	194	277	194	277	395	12	30	43	36	35
	6	20	20	20	23	20	20	27	14	35	50	42	40
	8	20	26	22	31	20	26	36	16	40	57	56	50
	10	23	32	27	39	23	32	45	25	62	89	87	42
	12	27	39	32	46	27	39	54	28	70	99	97	35
	14	32	45	38	54	32	45	63	32	80	113	111	49
	16	36	51	50	71	50	71	102	40	108	154	151	70
	20	45	64	63	89	63	89	127	50	151	216	215	142
	25	56	80	78	111	78	111	159	20	50	70	68	50
C 100/115	28	63	89	87	125	87	125	178	14	34	49	41	34
	32	71	102	100	142	100	142	203	16	39	56	55	48
	40	97	138	136	193	136	193	276	20	49	70	68	56
	50	136	194	190	271	190	271	387	25	61	85	121	121
	6	20	20	23	20	20	20	27	28	68	97	95	136
	8	20	26	22	31	20	26	36	32	111	109	109	136
	10	23	32	27	39	23	32	45	40	106	151	148	121
	12	27	39	32	46	27	39	54	50	148	211	207	205
	14	32	45	38	54	32	45	63	8	20	27	23	20
	16	36	51	50	71	50	71	102	12	28	40	34	29
C 70/85	20	45	64	63	89	63	89	127	14	33	47	40	34
	25	56	80	78	111	78	111	159	25	61	85	121	121
	28	63	89	87	125	87	125	178	30	75	121	121	106
	32	71	102	100	142	100	142	203	32	85	121	121	106
	40	97	138	136	193	136	193	276	32	106	149	149	121
C 100/115	50	136	194	190	271	190	271	387	40	101	144	141	121
	20	26	22	31	20	26	36	36	20	47	67	65	93
	25	32	37	32	46	27	39	54	25	58	83	81	116
	30	45	51	50	71	50	71	102	28	65	93	91	130
	35	51	64	63	89	63	89	127	32	75	104	104	149

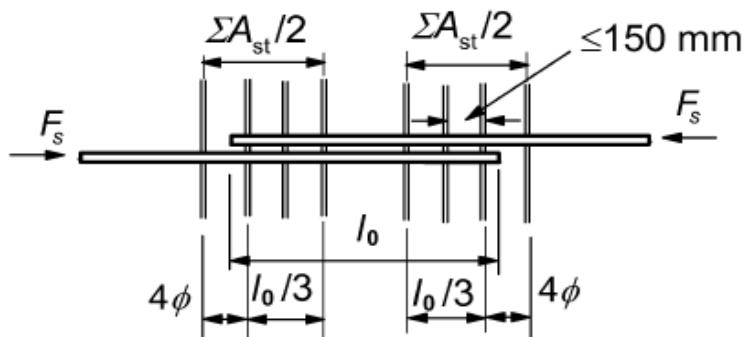
Querbewehrung (A_{st})

Querbewehrung für Übergreifungsstöße:

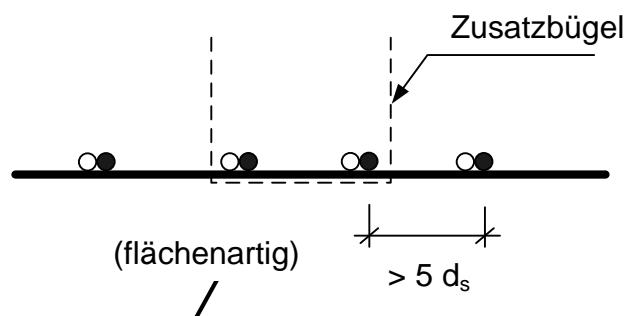
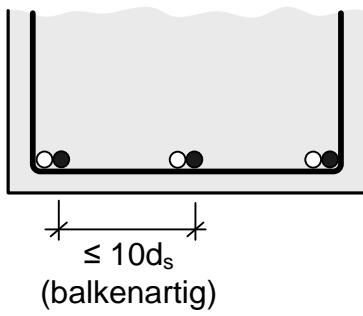
Zugstäbe



Druckstäbe



- $A_{st} \geq$ Bewehrung eines gestoßenen Stabs (vgl. Verankerung, analoge Grundvorstellung, bei mehreren Lagen je Lage in vertikaler wie horizontaler Richtung)
- **Achtung:** Bei großen Abständen a für alle Stäbe
- Bügelartige Ausbildung, falls:



alternativ:

- (a) Abstand $\leq 5d_s$ und $l_0^* = 1,3 l_0$
- (b) Stoßmitten um $\geq 0,5 l_0$ versetzen
(Bügelartige Umfassung wird dann entbehrlich)

- Gesonderte Regelungen für Betonstahlmatten
(Tabellenheftangaben verwenden, z.B. 1 x Maschenweite o.ä.)
- Gesonderte Regelungen bei:

- $d_s \geq 32$ mm
- Stabbündeln

Querbewehrung im Übergreifungsbereich von Tragstäben

Für Normalbeton (bis C55/67) und lichter Abstand der gestoßenen Stäbe $< 4d_s$

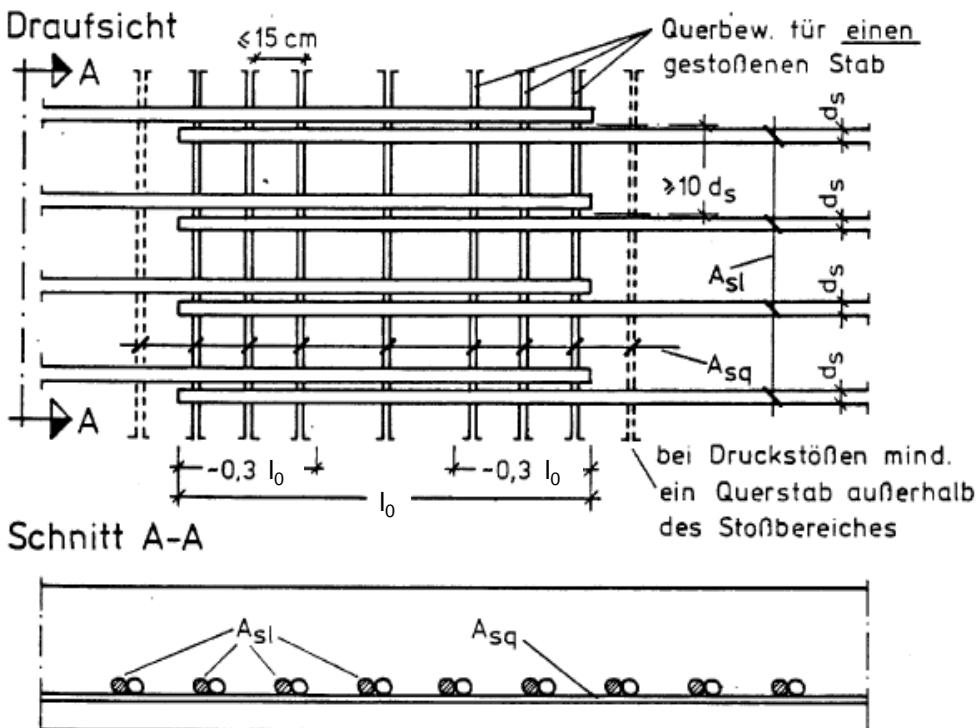
Achtung: Sonderregelungen bei höherfestem Beton, siehe [1] & [2]

Anordnung der gestoßenen Stäbe	Stabdurchmesser d_s [mm]	Stoßanteil [%]	Achsabstand a	Anzahl der Bemessung zugrundeliegenden Längsbewehrungsstäbe	Versatz des Stoßes	bügelartiges Umfassen erforderlich	Querbewehrung nach Beispiel
≥ 20 und balkenartiges Bauteil	< 20	< 25		nur konstruktive Querbewehrung erforderlich			-
	≥ 20	≥ 25	$> 10 d_s$	ein Stab	beliebig	nein	-
	≥ 20	≥ 25	$\leq 10 d_s$	ein Stab	nicht versetzt versetzt um min. 0,5 l_0	ja	a_1
	≥ 20	≥ 25	$> 5 d_s$	ein Stab	beliebig	nein	a_2
	≥ 20	≥ 25	$\leq 5 d_s$		nicht versetzt versetzt um min. 0,5 l_0	ja	a_3
	≥ 20	≥ 25				nein	a_1 mit $s > 5 d_s$
	≥ 20	≥ 25					a_2 mit $s \leq 5 d_s$
	≥ 20	≥ 25					a_3 mit $s \leq 5 d_s$
	≥ 20	≥ 25					a_3 mit $s \leq 5 d_s$ & $1,3 l_0$
	beliebig	> 50	$< 10 d_s$	alle Stäbe	beliebig	ja	b
übereinander	beliebig	≤ 50		vgl. Regeln für Anordnung der gestoßenen Stäbe nebeneinander			-

Beispiele zur Fallunterscheidung:

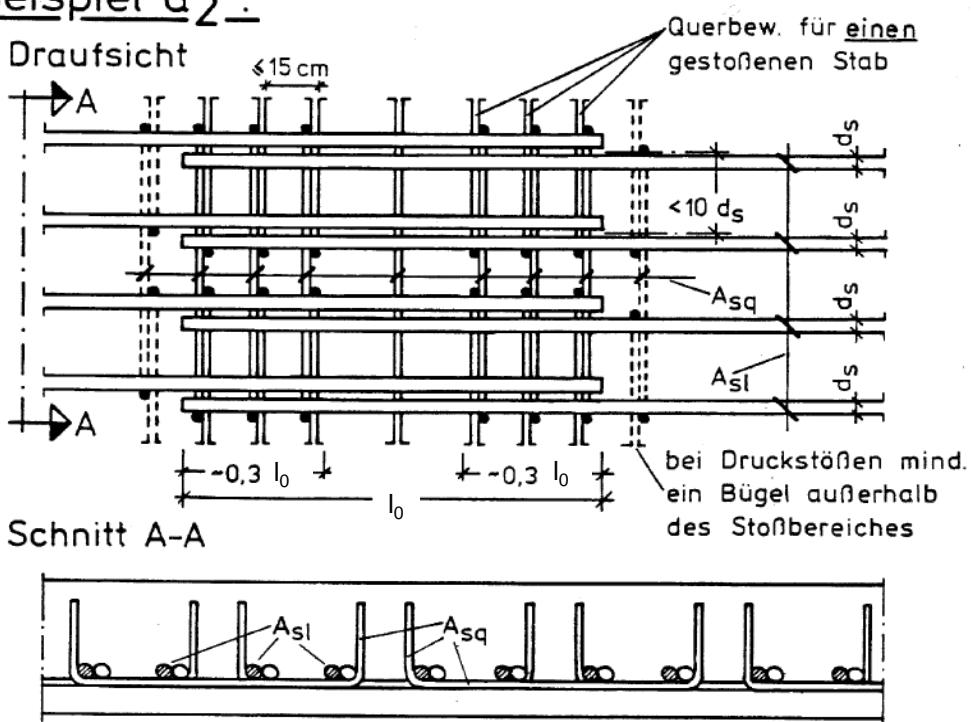
Stoß ohne bügelartige Umfassung

Beispiel a1:



Stoß mit bügelartiger Umfassung

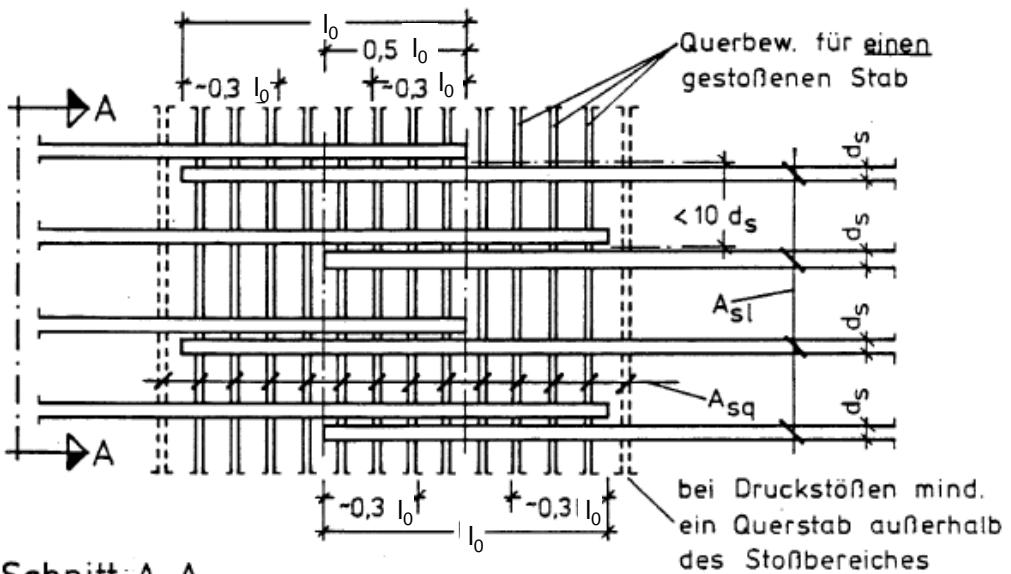
Beispiel a2:



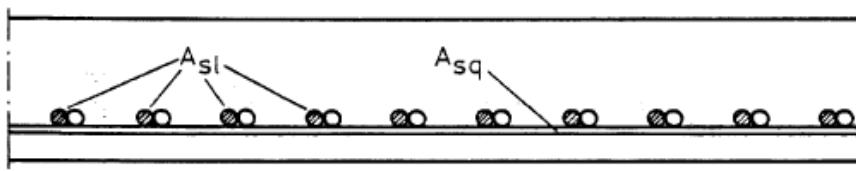
Beispiele zur Fallunterscheidung:

Beispiel a3 :

Draufsicht

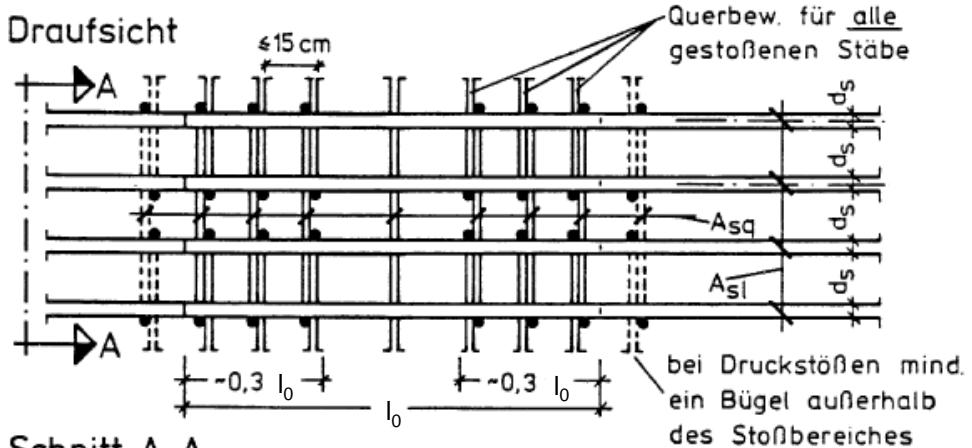


Schnitt A-A

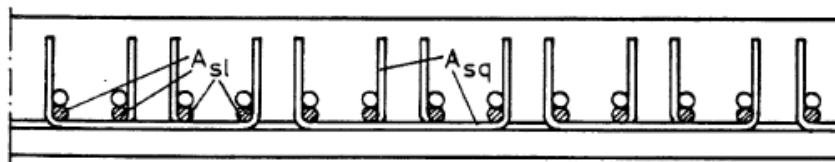


Beispiel b :

Draufsicht



Schnitt A-A



100% - Stoß mit übereinander liegender Bewehrung

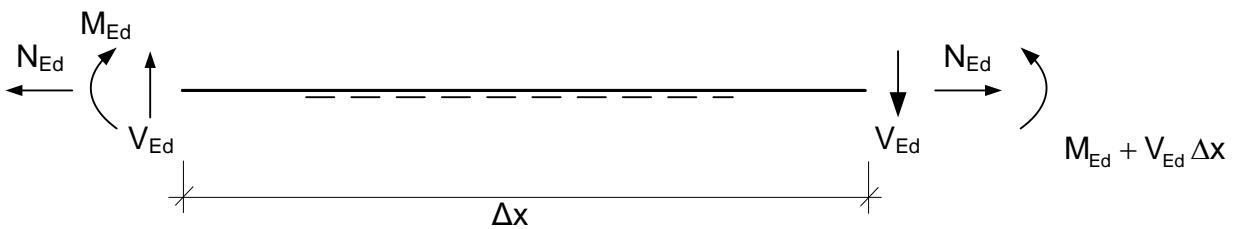
Zugkraftdeckung

Durch die Überprüfung der **Zugkraftdeckung** wird den Vereinfachungen im Modellansatz von Stab-, Platten-, oder Scheibensystemen zur Bemessung im Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZT) (getrennte Bemessung für Biegung und Schub) hin zu **realitätsnahen Fachwerkmodellen** mit Druck- und Zugfeldern im Rahmen der konstruktiven Durchbildung Rechnung getragen.

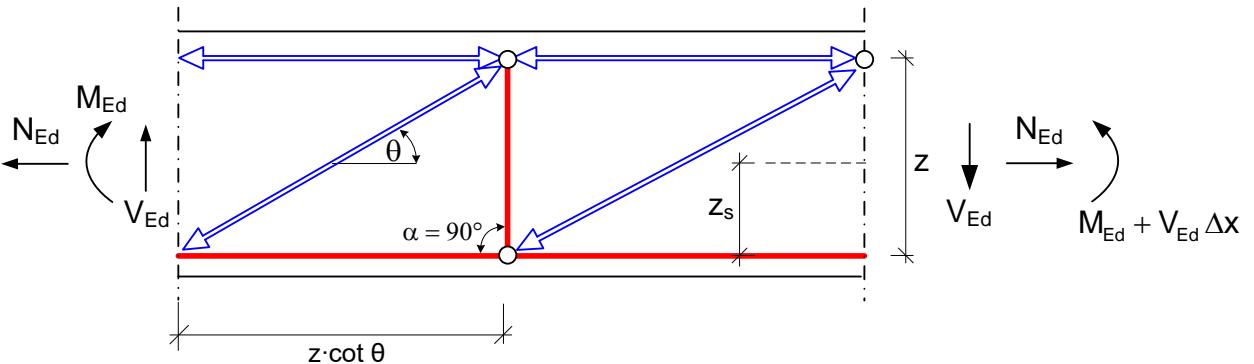
Zu berücksichtigen sind:

- vergrößerte Bereiche mit dann **abgestufter Zugkraft**, also ein Versatz der „theoretischen“ Zugkraftlinie (**Versatzmaß a_1**)
- Randzugkräfte aus den zum Auflager laufenden Streben
- Verankerungen der Einzelstäbe mit Lasteinleitungsbereichen

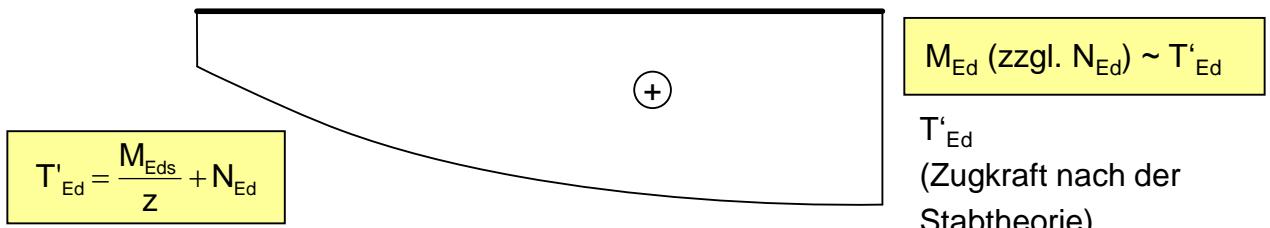
Stabsystem



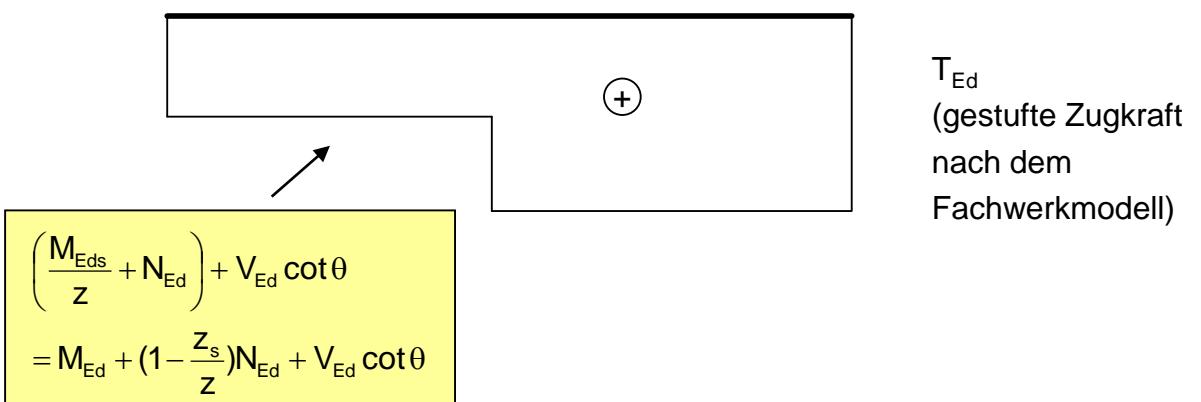
Einfaches Fachwerk (statisch bestimmt)



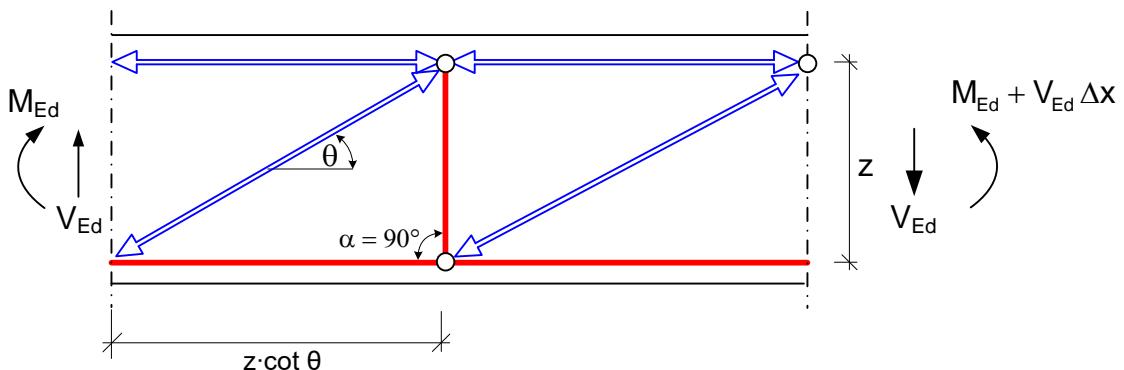
Verlauf der Zugkraft nach der Stabtheorie:



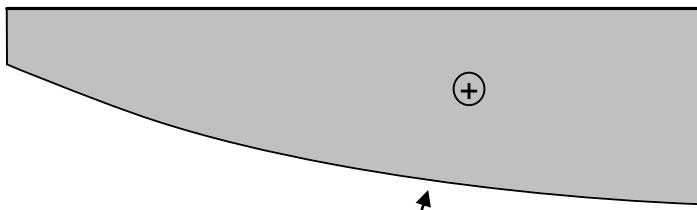
Verlauf der Zugkraft nach dem Fachwerkmodell:



Reine Biegung:

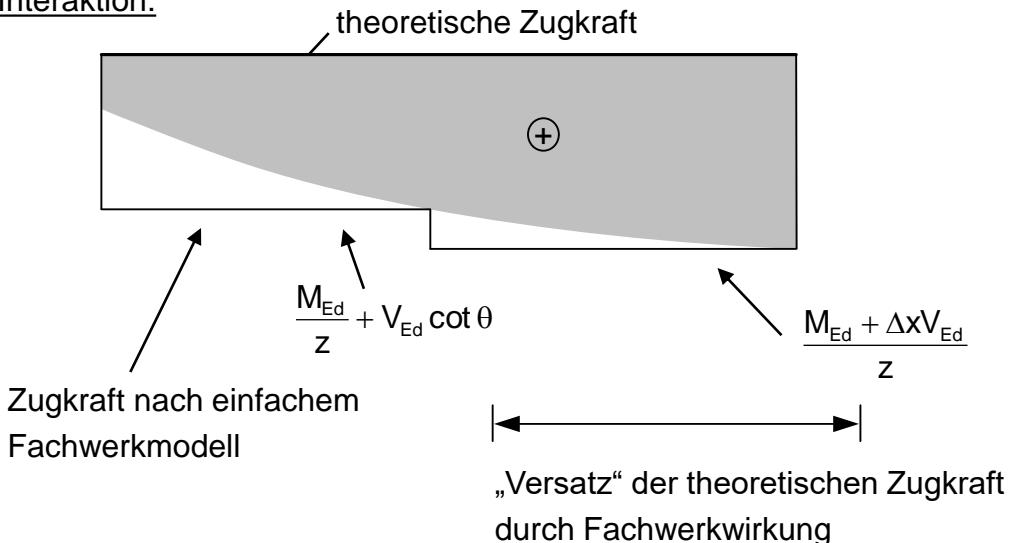


Verlauf der theoretischen Zugkraft:

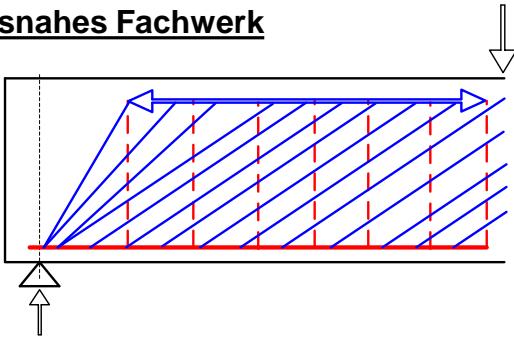


$$T'_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{z}$$

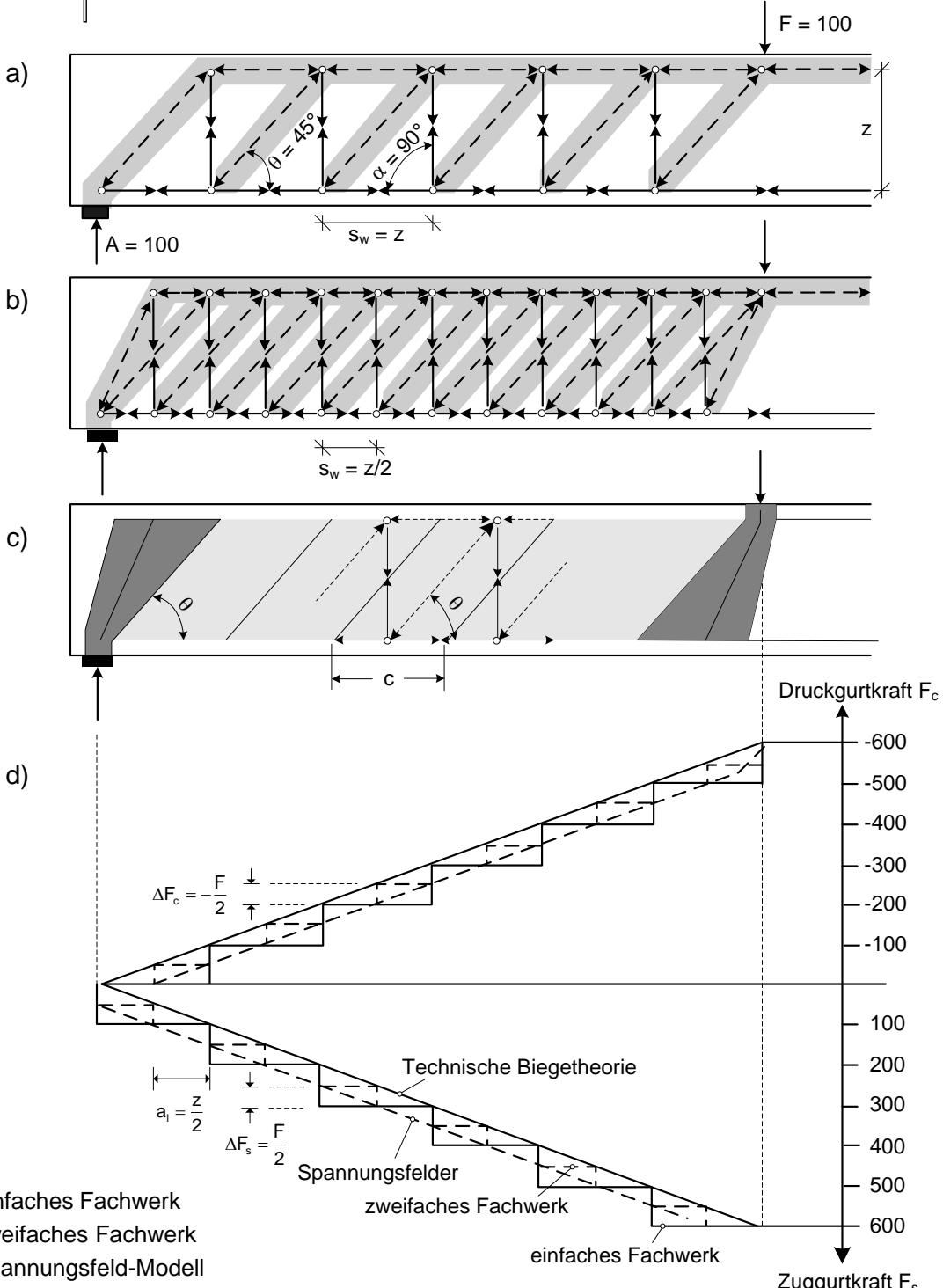
Interaktion:



Realitätsnahes Fachwerk



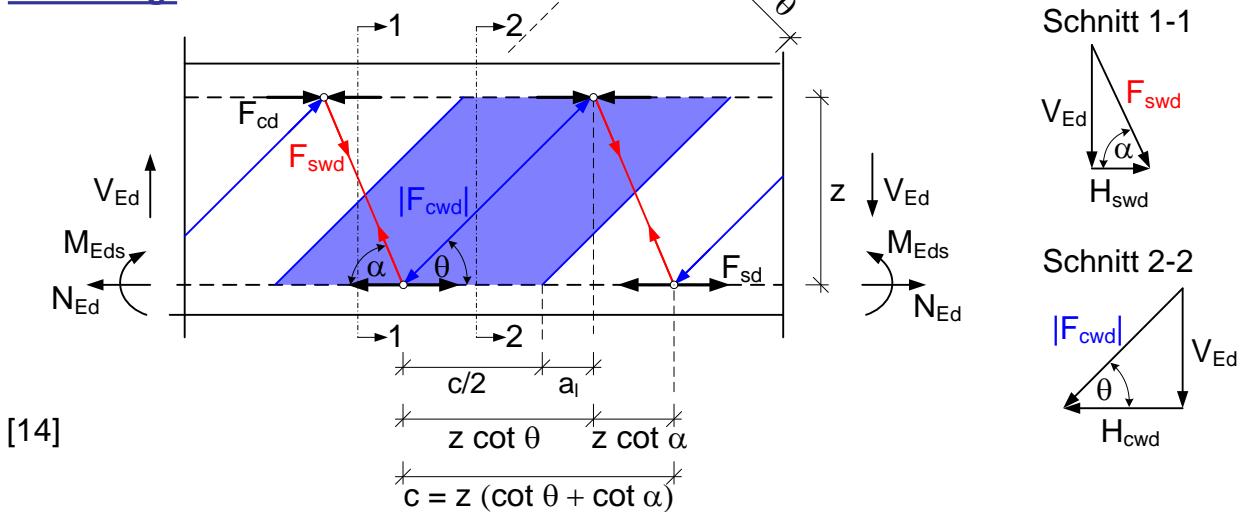
- mehrfach statisch unbestimmt
- geneigtes Druckfeld
- vertikales „Zugfeld“ (Bügel)



- a) einfaches Fachwerk
- b) zweifaches Fachwerk
- c) Spannungsfeld-Modell
- d) Gurtkräfte

Versatzmaß a_l

Herleitung:



Ausgehend von dem bereits in Teil I, S. 112 ff vorgestellten Fachwerkmodell für den Querkraftabtrag folgt das Versatzmaß a_l zu:

$$a_l = \frac{z}{2}(\cot \theta - \cot \alpha)$$

Die in Schnitt 1-1 und Schnitt 2-2 dargestellten Beziehungen zeigen, dass aus den geneigten Zug- und Druckstreben gegeneinander gerichtete, horizontale Kraftkomponenten resultieren:

$$H_{swd} = F_{swd} \cos \alpha = V_{Ed} \cot \alpha$$

$$H_{cwd} = |F_{cwd}| \cos \theta = V_{Ed} \cot \theta$$

Die resultierende Horizontalkraft beträgt somit:

$$H_{wd} = V_{Ed}(\cot \theta - \cot \alpha)$$

Der Angriffspunkt der resultierenden Horizontalkraft liegt im Abstand $z/2$ von den Gurten entfernt in der Mitte der Schubzone. Aus diesem Grund wird die Horizontalkraft jeweils zur Hälfte durch entgegen gesetzte Horizontalkräfte in Druck- und Zuggurt aufgenommen:

$$F_{sd} = \frac{M_{Eds}}{z} + N_{Ed} + \frac{V_{Ed}}{2}(\cot \theta - \cot \alpha)$$

$$F_{sd} = -\frac{M_{Eds}}{z} + \frac{V_{Ed}}{2}(\cot \theta - \cot \alpha)$$

Vergrößerung der Zuggurtkraft F_{sd}

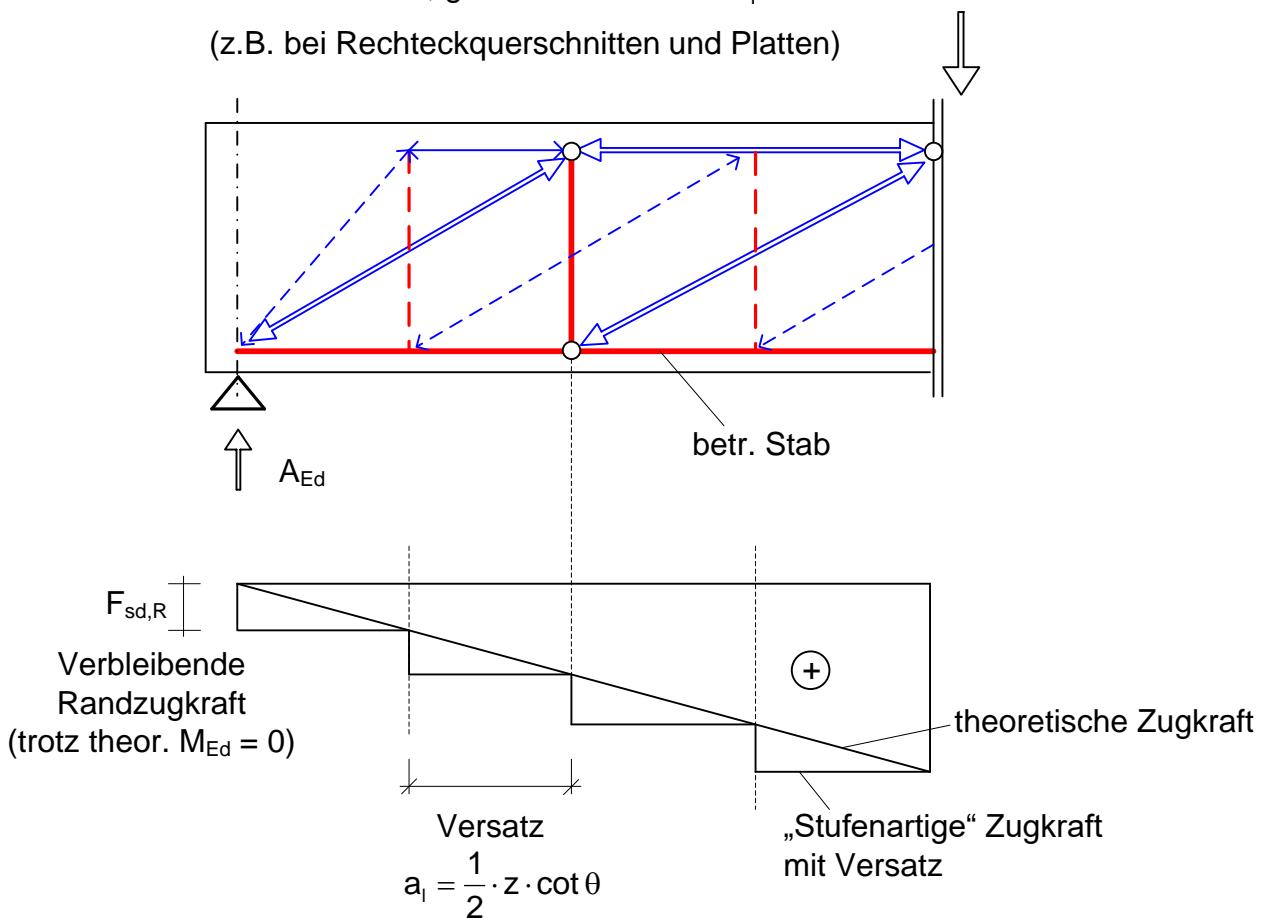
Reduktion der Druckgurtkraft F_{cd}

Das Versatzmaß a_l kann als geometrisches Äquivalent zum Zugkraftzuwachs ΔF_s betrachtet werden.

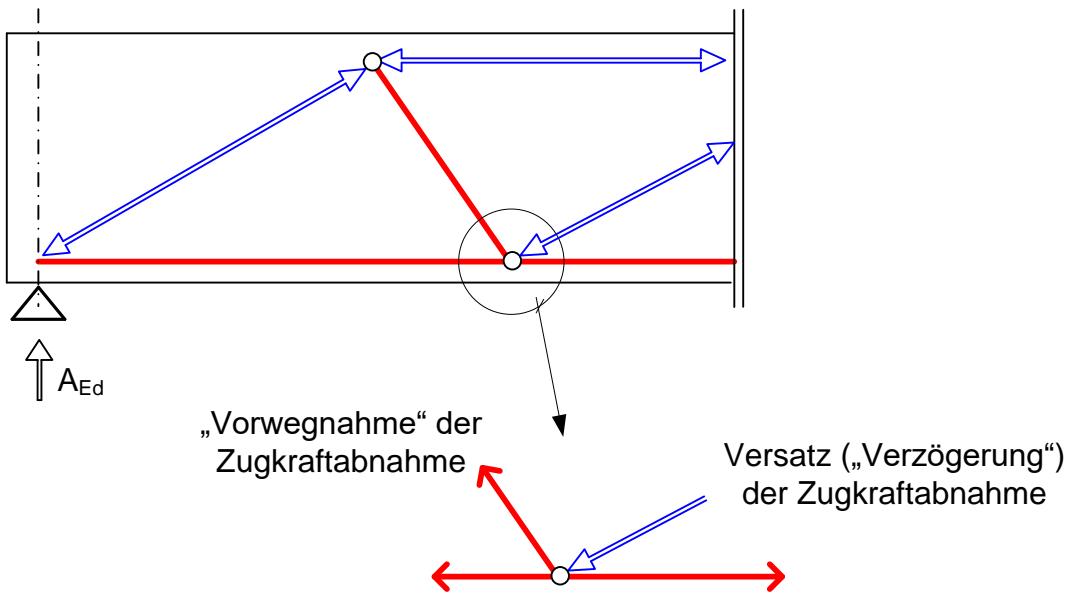
Eigenschaften des Versatzmaßes a_l

$$a_l = \frac{z}{2} (\cot \theta - \cot \alpha)$$

- Versatz, also Verlängerung der Zugkraftdeckung durch fachwerkähnliches Tragverhalten
- halbe Fachwerklänge des statisch bestimmten Fachwerks
- das Versatzmaß ist abhängig vom Druckstrebeneigungswinkel θ :
 - a.) hohe Schubbeanspruchung der Betonstrebe:
 - steile Winkel θ , kleines Versatzmaß a_l
(z.B. bei T- und I-Trägern)
 - b.) niedrige Schubbeanspruchung der Betonstrebe:
 - flache Winkel θ , großes Versatzmaß a_l
(z.B. bei Rechteckquerschnitten und Platten)



- das Versatzmaß ist abhängig von der Bügelneigung α :

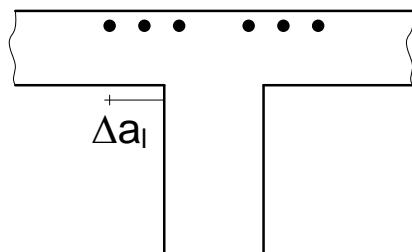


- Bügel bzw. Schrägkraftneigungen reduzieren das Versatzmaß
- Am Rand verbleibt eine gegenüber den Schnittgrößen nach Balkentheorie vergrößerte Randzugkraft $F_{sd,R}$ zu verankern.

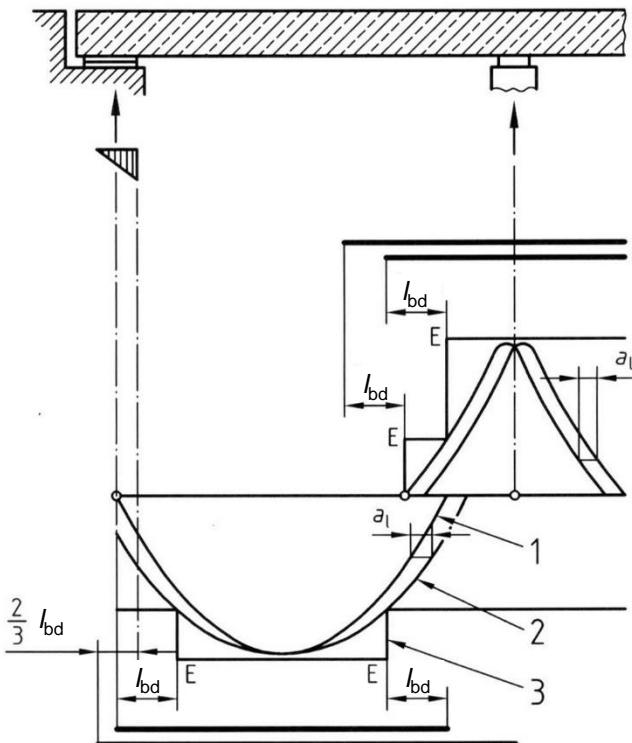
$$F_{sd,R} = V_{Ed} \frac{a_l}{z} + N_{Ed} \geq \frac{V_{Ed}}{2}$$

(Abhängig vom Versatzmaß)

- Werden – wie bei zum Beispiel Plattenbalken – Bewehrungsstäbe in die Platte ausgelagert, so ist das zugehörige Versatzmaß um das Maß der Auslagerung Δa_l zu vergrößern.



Zugkraftdeckungslinie



Legende

1 Umhüllende für $F_{sd} = \frac{M_{Eds}}{z} + N_{Ed}$

Dabei ist M_{Eds} der auf die Schwerachse der Bewehrung bezogene Bemessungswert des einwirkenden Moments

2 um a_l verschobene Umhüllende

3 Zugkraftdeckungslinie

nach [4]

- Versatz der Zugkraft um das Versatzmaß a_l
- Verankerung der gegebenenfalls gestaffelten Stäbe:
 - a.) am Rand (Endauflager) für F_{sd} mit zugehöriger Länge $l_{bd,dir}$ bzw. $l_{bd,ind}$ ab Auflagervorderkante ($\geq 6,7d_s$ bzw. $\geq 10d_s$)
 - b.) im Bauteil mit Verankerungslänge
(Zugkraft kann linear ansteigend über die Verankerungslänge angenommen werden)

(Zeichnerischer) Nachweis der Zugkraftdeckung bei komplizierten Konstruktionen, in der Regel konstruktiv im Rahmen der Planumsetzung

Beispiel einer Zugkraftdeckungslinie

Bezeichnungen:

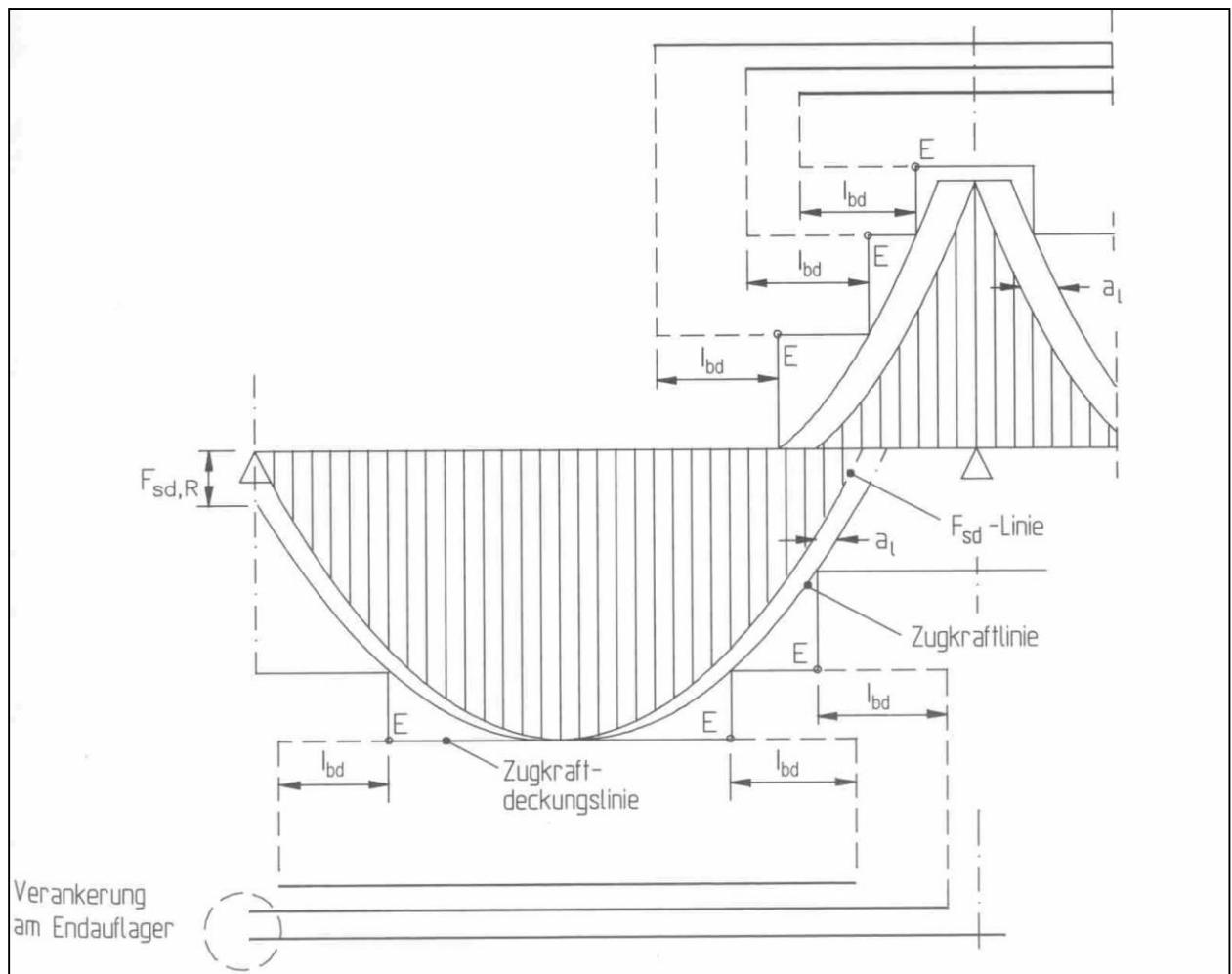
E: rechnerische Endpunkte der Bewehrung

a_l: Versatzmaß

I_{bd,net}: Verankerungslänge der Bewehrung

F_{sd,R}: Randzugkraft

[10]



Schubkraftdeckung

Die Schubkraftdeckung erfolgt zum Nachweis der Abdeckung von Schubbewehrung im Bauteil.

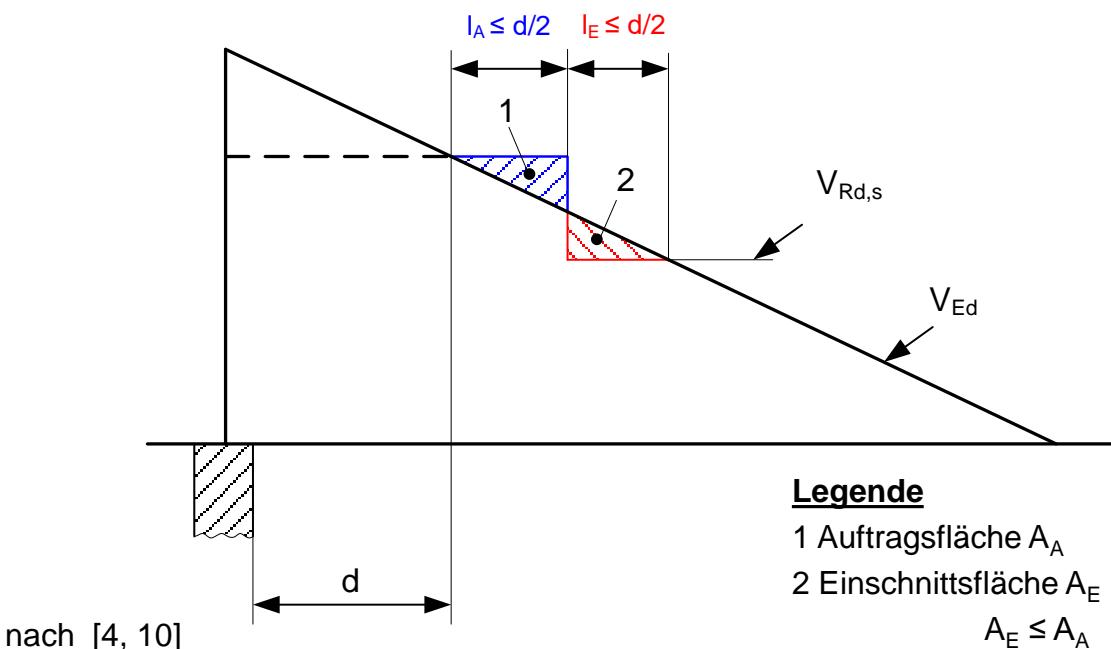
- bei reiner Querkraftbeanspruchung auf Basis von **Vergleichslinien von V_{Ed} und $V_{Rd,s}$** (Einfluss unterschiedlicher Neigungen, z.B. Kombination von Bügeln und Schrägstäben ist damit erfasst)
- häufig sinnvoll, gerade bei kombinierten Beanspruchungen aus Querkraft und Torsion auf Basis **erforderlicher Bügelbewehrungsmengen $a_{sw,erf}$ [cm²/m] / $a_{sw,vorh.}$** .

- Unterschiedliche Neigungswinkel (z.B. Bügel und Schrägstäbe) in der Deckungslinie berücksichtigen: z.B. 45°-Schrägstäbe mit dem Faktor $\sqrt{2}$ bewerten.
- Die Verankerungsarten (Torsions- bzw. Querkraftbügel) anhand der Beanspruchungsverteilung wählen.

Vereinfachungen

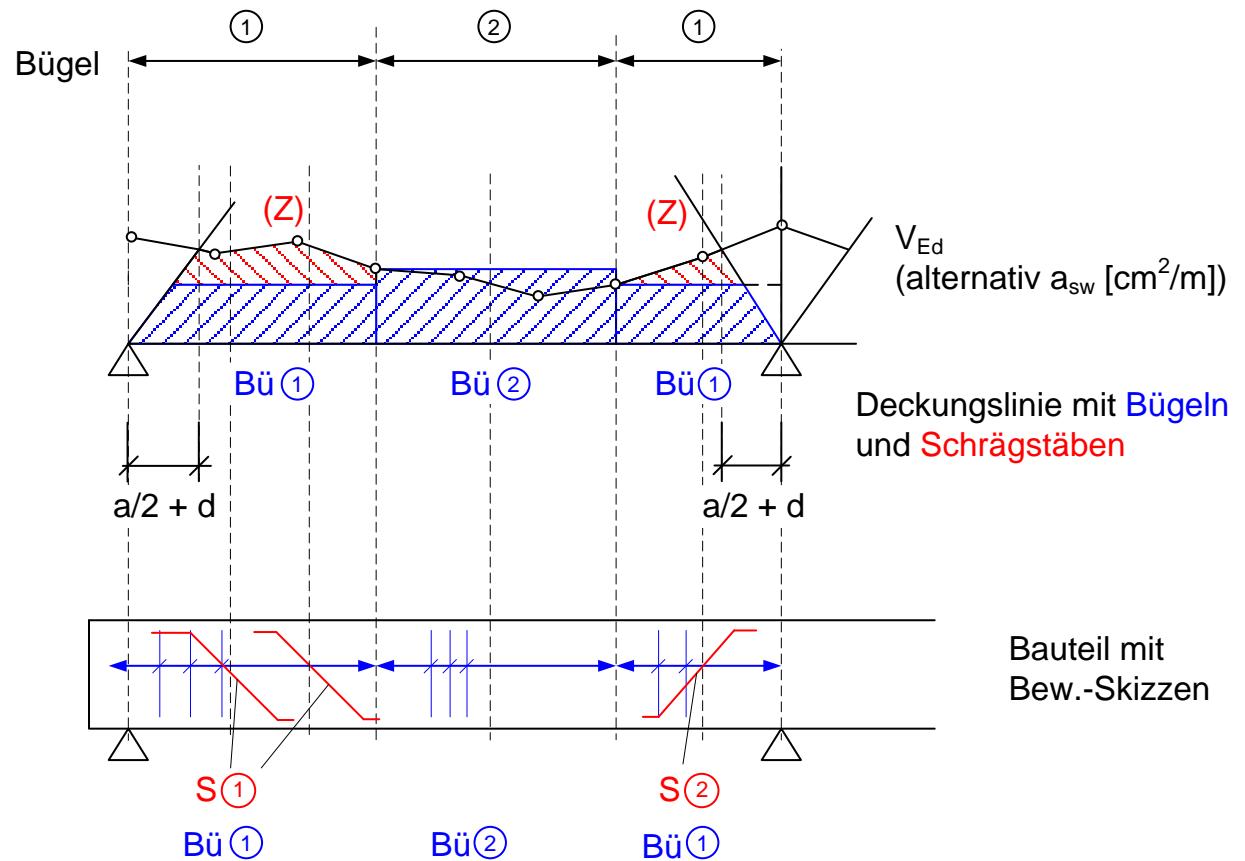
(Einschneiden in die Deckungslinie)

Vereinfachungen wie das Einschneiden der Deckungslinie sind in der Regel möglich, da geringere Genauigkeitsanforderungen in Bezug auf den Ort der Bewehrung.



Zulagen und Schrägstäbe (Z)

Beispiel zur Schubkraftdeckung:



$$V_{Rd,s} = V_{Rd,s,Bügel} + V_{Rd,s,Schrägstäbe}$$

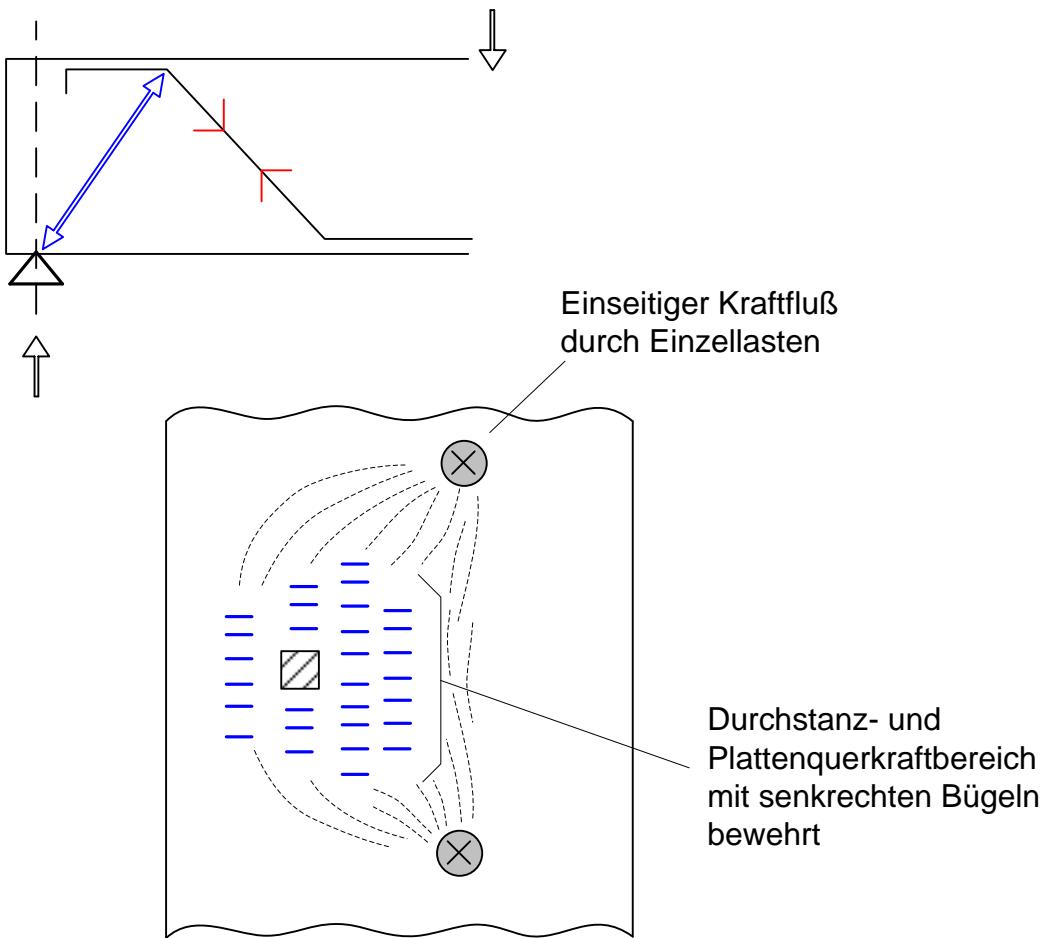
Grundsätzliches zur Schubbewehrung

Neigungswinkel:

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

Achtung:

Neigung in Richtung des Zugfeldes beachten, bei Platten ist dies gegebenenfalls nicht eindeutig. Dann: $\alpha = 90^\circ$



Alternativ: Rotationssymmetrische Anordnung von 45° -Aufbiegungen bei rotations-symmetrischer Beanspruchung, Kopfbolzendübelleisten oder ähnliche Einbauteile.

Weitere Hinweise:

- Bei Balken sind mindestens 50% der Schubbewehrung mit Bügeln abzudecken.
- Bewehrungsarten "Schubbewehrung" bzw. "Schubzulagen" beachten (vgl. Kapitel "Balken")
- Mindestbewehrungsmengen und zugehörige Stababstände s_{\max} beachten (vgl. Kapitel "Balken")

Bemessen und Konstruieren mit Fachwerkmodellen

a) Grundlagen und Vorgehensweisen

Typische Anwendungsgebiete:

Sonderbereiche, die durch typische Balken- oder Plattenbemessungen nicht abgedeckt sind, wie

- Scheiben
- lokale Lasteinleitungen oder geometrische Diskontinuitäten (z.B. Konsolen, Öffnungen in Balken, Verankerungspunkte, Versprünge, ...)
- volumenartige Bauteile (z.B. massive Querträger, Knotenpunkte, ...)
- Kontakt- oder Bauteilübergangsbereiche

Häufige Bezeichnung:

B – Bereiche (Balkenbereiche, Bereiche mit Gültigkeit der Bernoullischen Hypothese vom Ebenbleiben des Querschnitts)

D – Bereich (Diskontinuitätsbereiche im Sinne von geometrischer bzw. statischer Diskontinuität)

Grundlagen und Vorgehensweisen

(vgl. auch Schlaich/Schäfer „Konstruieren im Stahlbetonbau“ [15])

Der Grundgedanke basiert auf einer Modellierung von Stahlbetontragwerken oder -bauteilen durch Fachwerks- bzw. Stabwerkssysteme aus **Zug- und Druckstrebrennen**. Die einzelnen Stäbe fassen Zugspannungen bzw. Druckspannungen integrativ zu **Resultierenden** zusammen und sollten sich so nah als möglich am realitätsnahen Kraftfluss orientieren. Oft wird ein nach linear-elastischer Theorie ermittelter **Kraftfluss** vorausgesetzt, wobei materiell nichtlineare Berechnungsverfahren häufig zu geeigneten Ergebnissen führen.

Grundlage bildet der

1. Grundsatz der Plastizitätstheorie

(z.B. Drucker [32], Muttoni [33],
Thürlimann [16] oder Marti [17])

Ein Tragwerk aus plastisch verformbaren Werkstoffen versagt nicht, wenn zu einer gegebenen Belastung eine beliebige Spannungsverteilung gefunden werden kann, die den Gleichgewichtsbedingungen genügt und die Fließgrenzen der Werkstoffe einhält.

Hauptkriterien:

- Einhalten des **Gleichgewichts**
- Einhalten maximaler **Ausnutzungen**
- Berücksichtigung zul. **Verformungen/Rotationsen**
für den theoretischen Gleichgewichtszustand

Hinweis:

Fachwerks- bzw. Stabwerksmodelle berücksichtigen den Grenzzustand der Tragfähigkeit. **Gebrauchstauglichkeitsanforderungen** sind durch folgende Zusatzkriterien zu erbringen:

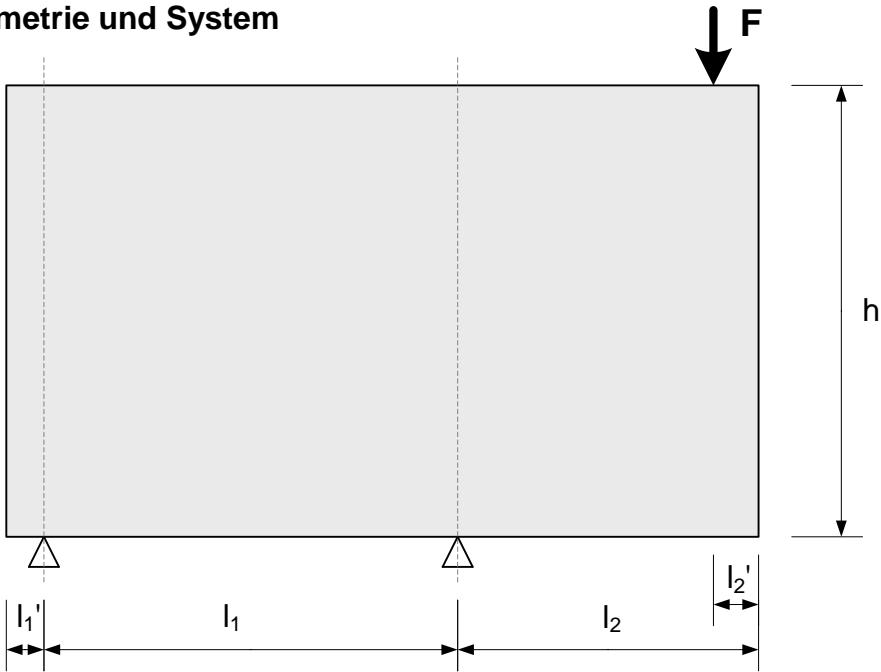
- Wahl des Systems nahe am realen Tragverhalten (geringe Umlagerungen erforderlich, geringe Rissbildungen)
- Zusatzbewehrung zur Begrenzung der Rissbreiten
- konstruktive Zusatzbewehrung aus Kontinuitätsgründen

Häufig können **Standardmodelle** genutzt und insgesamt überlagert werden. Zu beachten ist bei solchen Überlagerungen, dass sich **Zugstreben** prinzipiell kreuzen können (kreuzende Bewehrung), **Druckstreben** aber nicht (mehrachsige Druckspannung) sondern Knoten bilden.

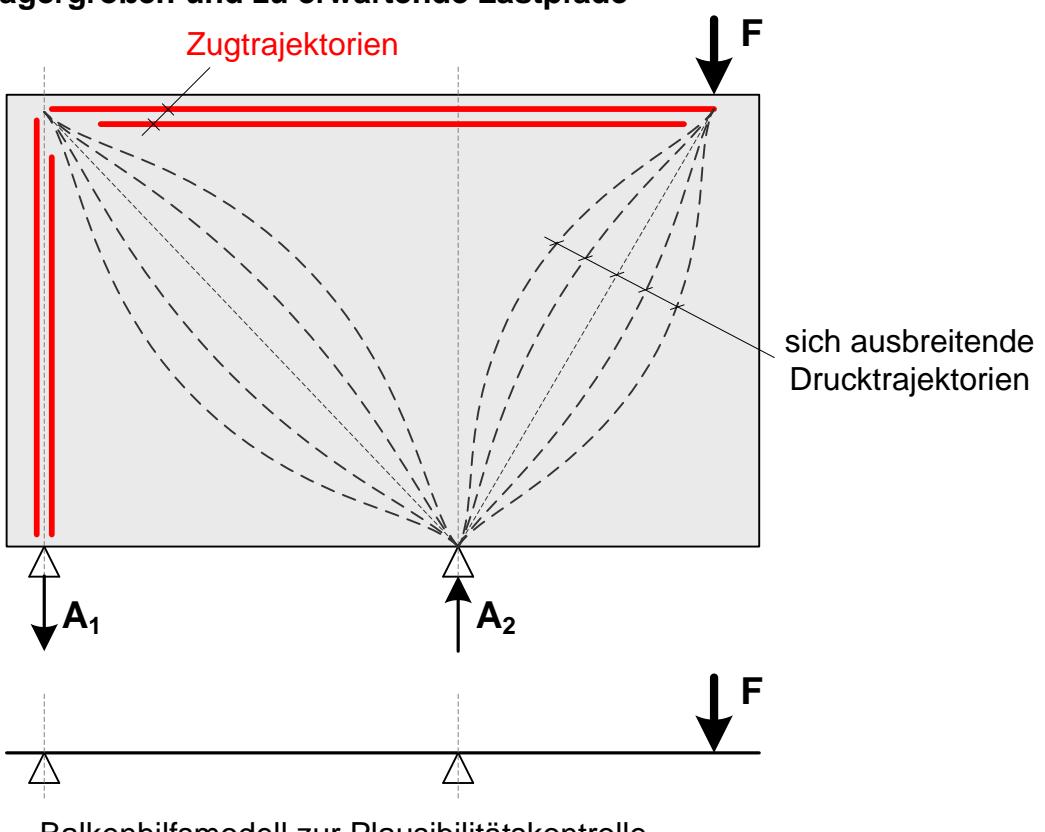
Prinzipielles Vorgehen mit Hilfe der Lastpfadmethode:

Beispiel 1: Wandartige Träger

(a) Geometrie und System

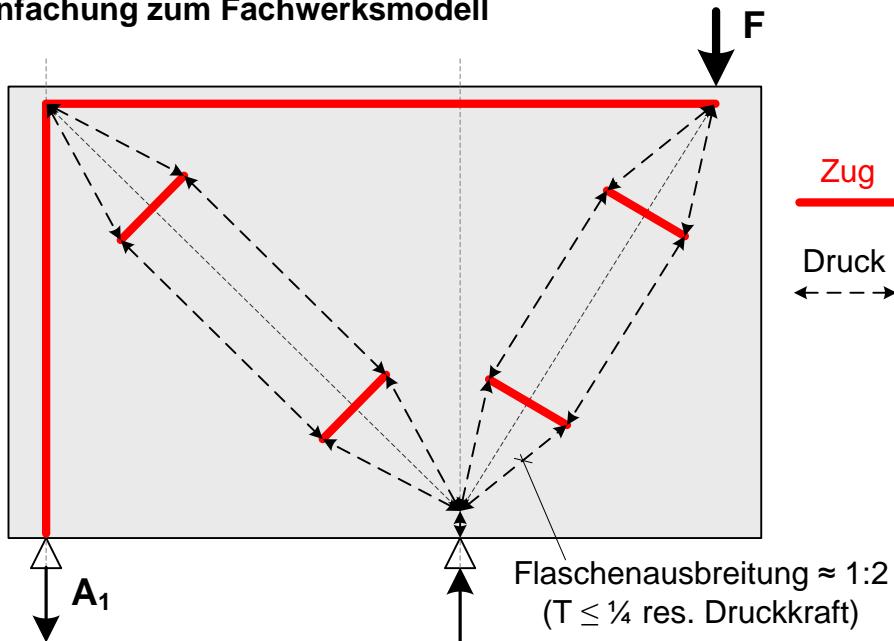


(b) Auflagergrößen und zu erwartende Lastpfade



Balkenhilfsmodell zur Plausibilitätskontrolle

(c) Vereinfachung zum Fachwerksmodell

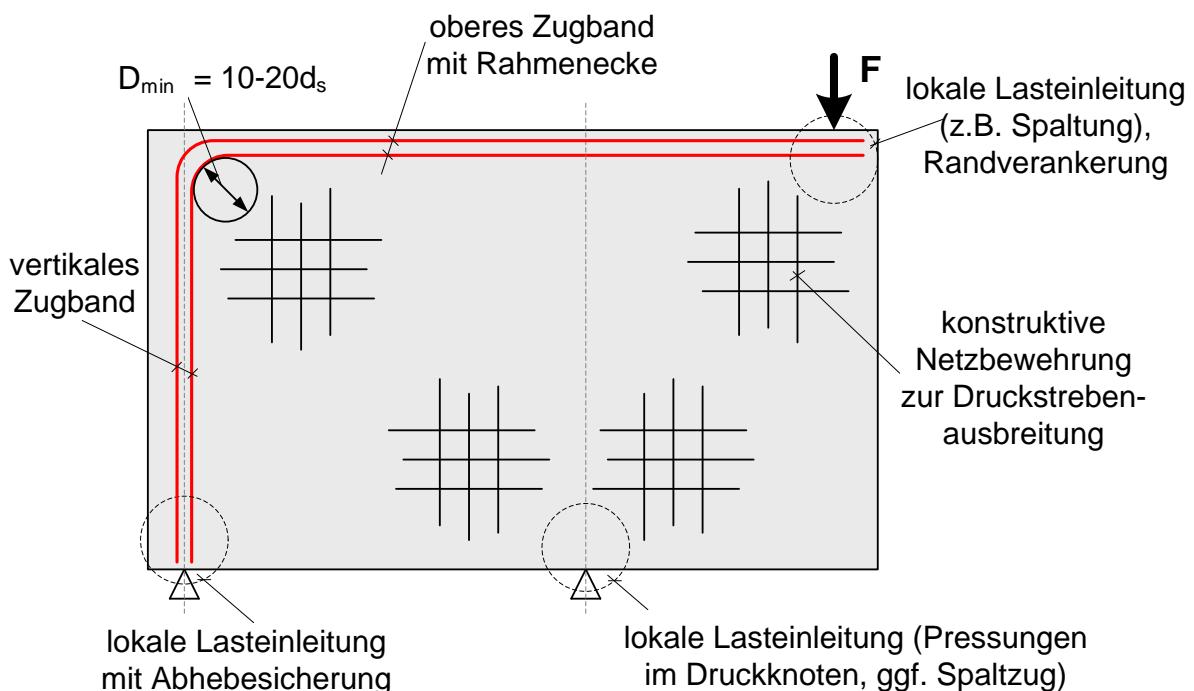


(d) Bewehrung und Konstruktion

- Berechnung der erf. **Bewehrungsmengen aus den Zugstreben**:

$$\text{erf } A_s = \frac{T \cdot \gamma}{f_{yd}}$$

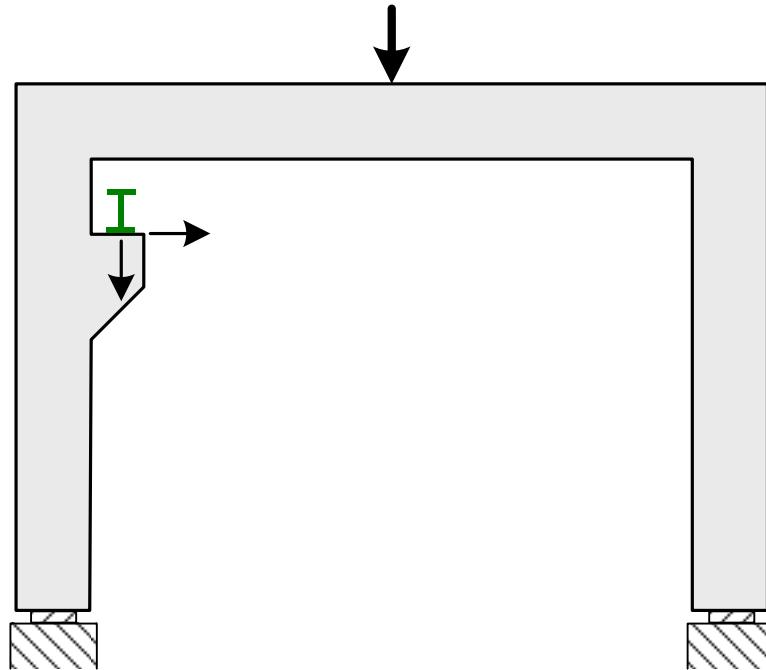
- Nachweis der **Druckknoten**, ggf. lastverteilende Maßnahmen
- Detaillierung der Knotenpunkte
- zzgl. **konstruktiver Oberflächenbewehrung** nach Konstruktionsprinzipien (Umlaufende Randerfassung, Oberflächenbewehrung, Lagesicherung, usw.)



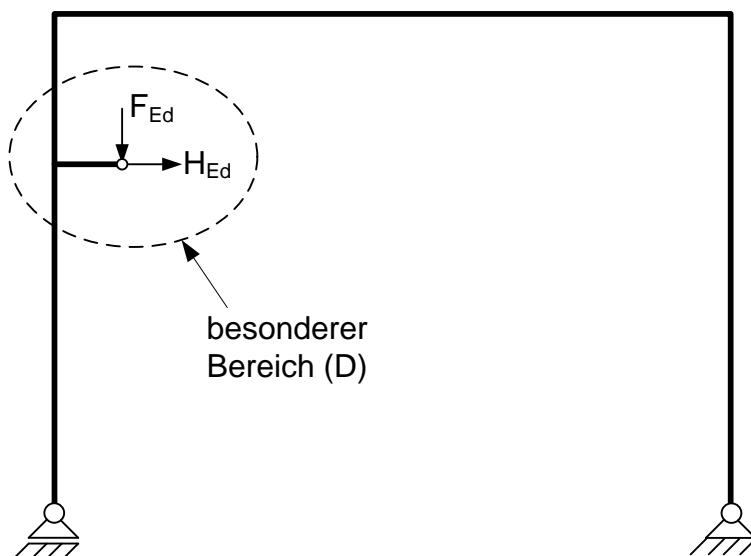
Beispiel 2: Konsole im Rahmen

(a) Geometrie und System

Stahlbetonrahmen mit Konsole, unbestimmt gelagert

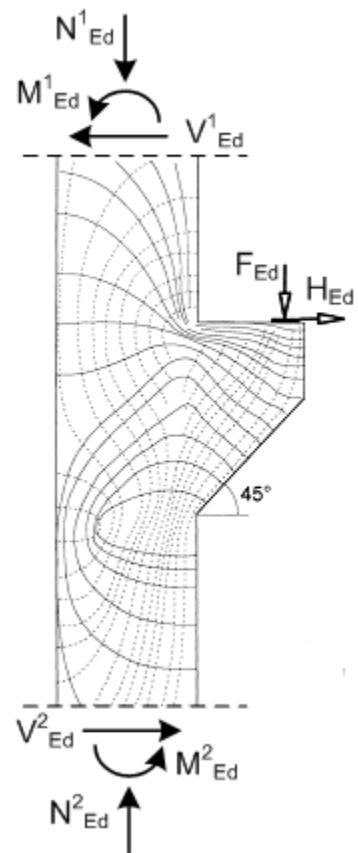


(b) Idealisierung zum statischen Ersatzsystem (Rahmen) als Balkenstruktur

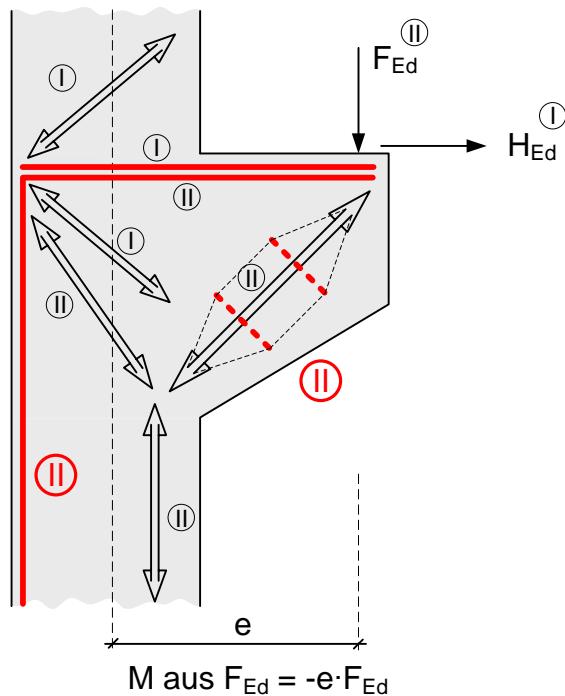


(c) Heraustrennen des D-Bereichs "Konsole"

Antragen der Randschnittgrößen aus dem globalen Modell



(d) klassisches Stabwerksmodell "Konsole mit Zugkraft" (ohne globale Wirkungen)



(e) Überlagerung mit den Standardbemessungsergebnissen der Randbereiche

- H_{Ed} als Rückzuhängende Last mit Querkraftanschluss
- F_{Ed} als klassische Konsole mit Restexzentrizität zur Stützenachse
- Rest aus Rahmenbemessung

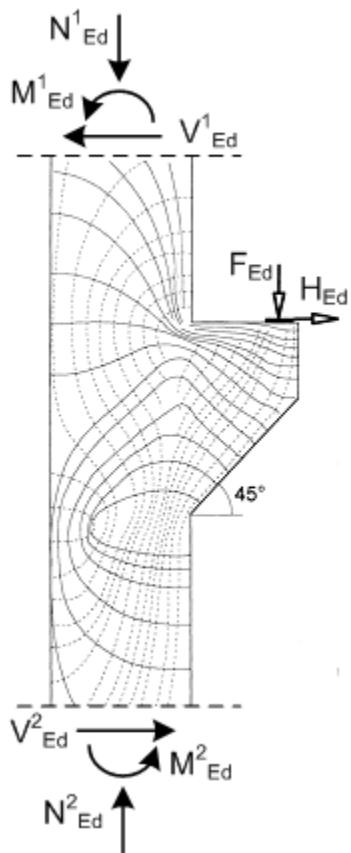
(f) Bewehrung und Konstruktion

wie vor

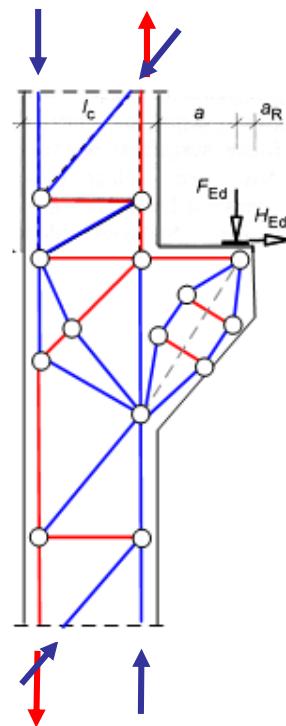
Informativ

Gesamtmodell als Ergebnis von FE-Berechnungen und entsprechender Idealisierungen

Spannungstrajektorien



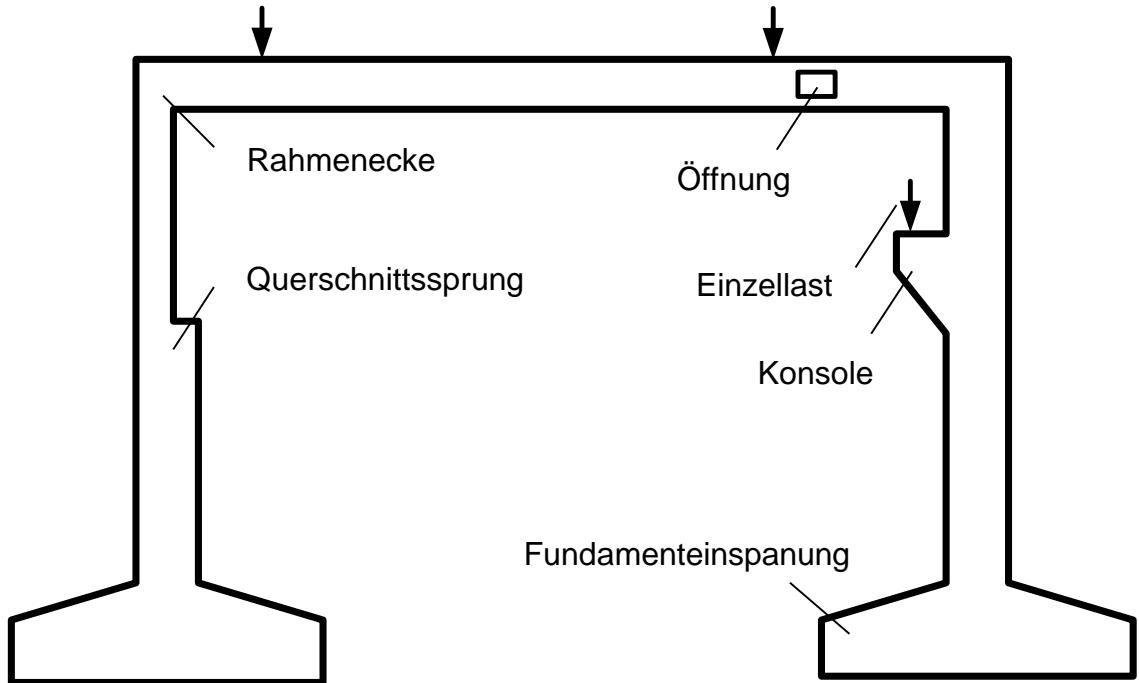
ein mögliches Fachwerkmodell



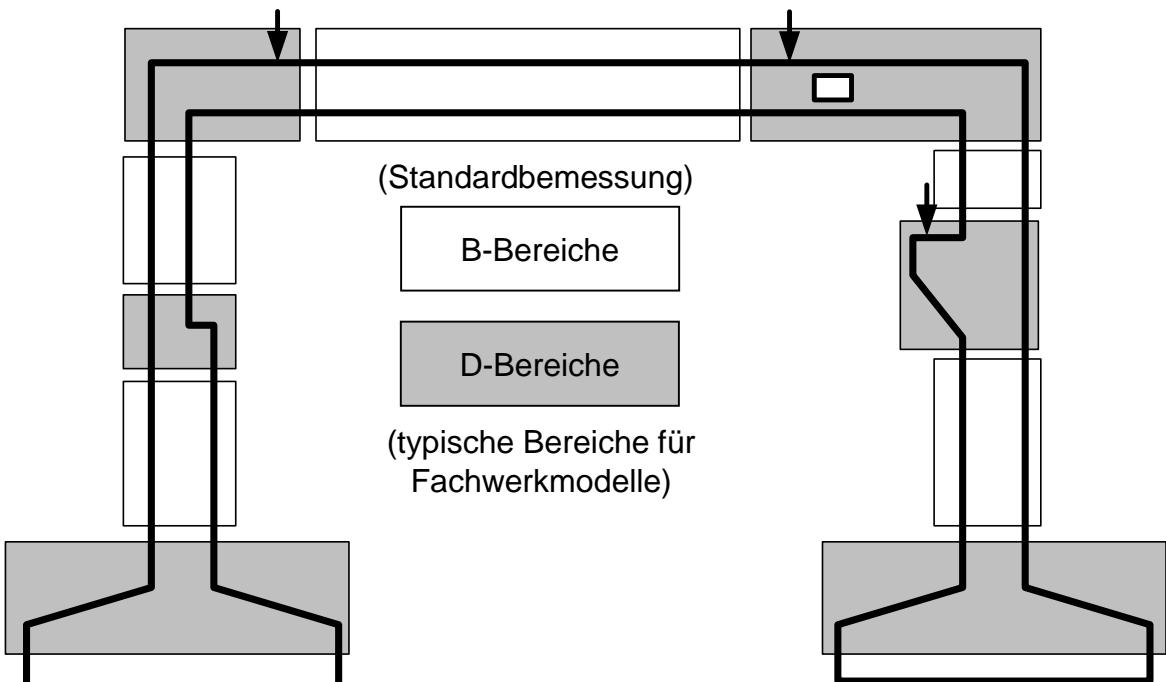
Abgrenzung zwischen D - Bereichen und B - Bereichen

Beispiel: monolithische Rahmenkonstruktion

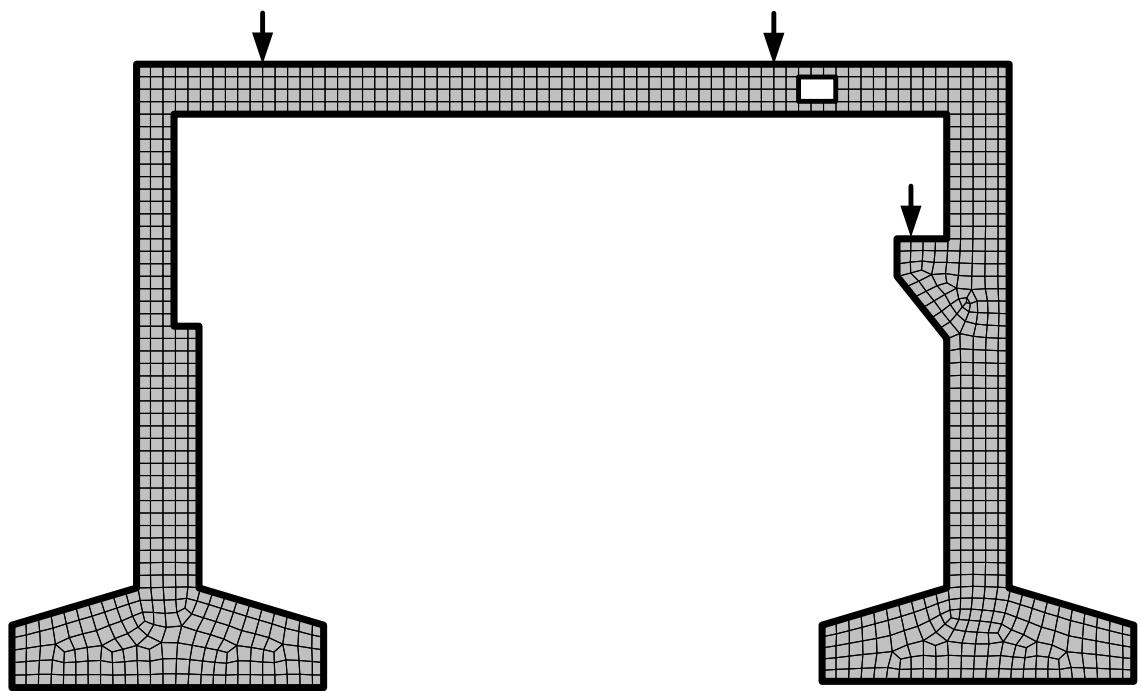
- Bereiche in den typischer Weise Diskontinuitäten auftreten



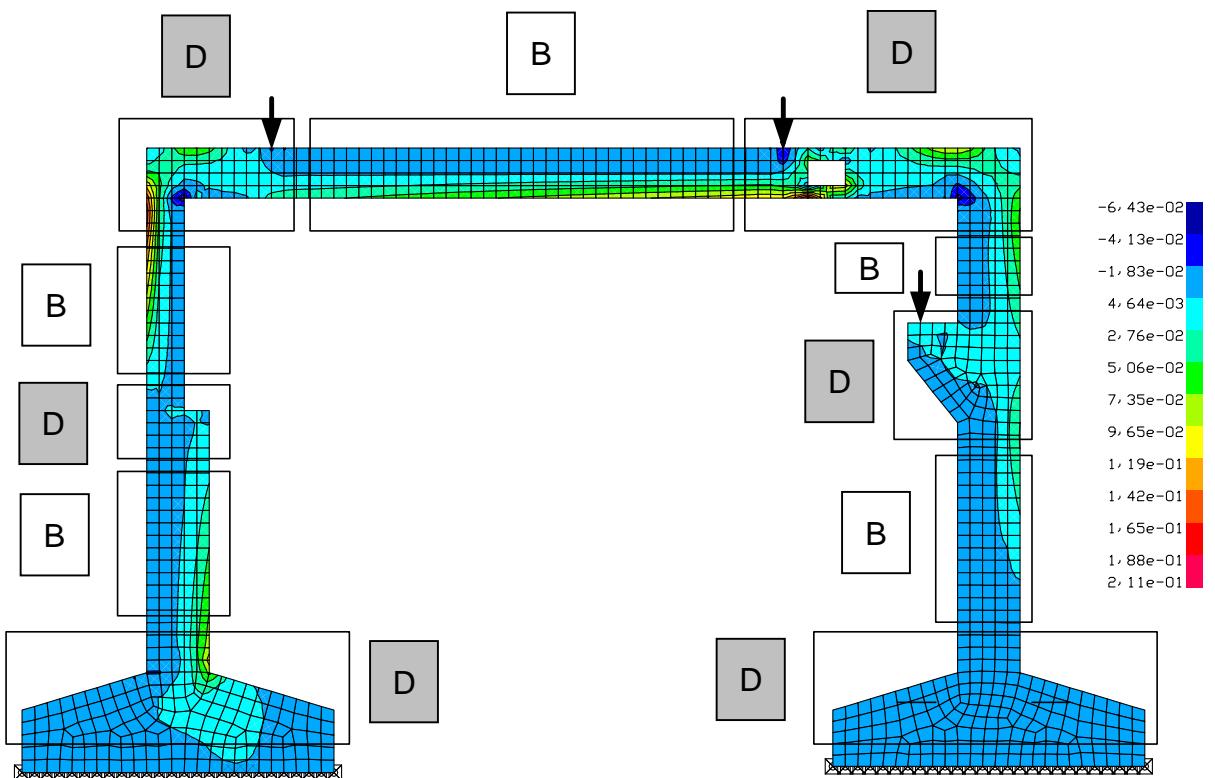
- Aufteilung des Tragwerks in D - und B - Bereiche



Spannungsberechnung nach der Elastizitätstheorie mit FE-Methode



Ergebnisse: Hauptspannungen in den D- und B- Bereichen

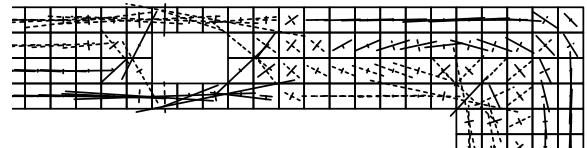
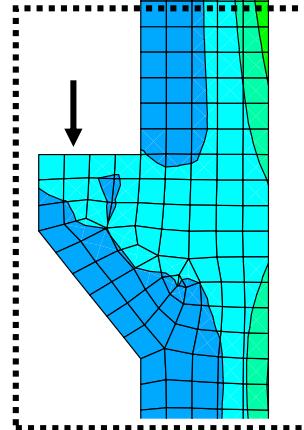


- Aufteilung sollte anhand der Spannungsberechnung überprüft werden

D-Bereiche: Trägeröffnung, Rahmenecke und Konsole



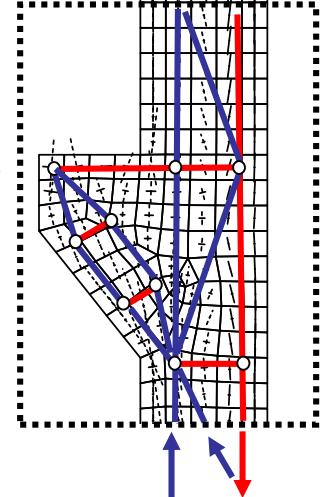
Detail: Konsole



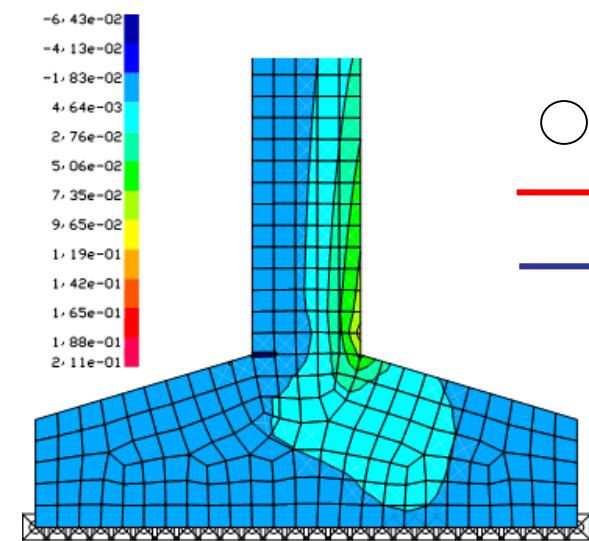
Knoten

Zugstreb

Druckstrebe



D-Bereich: Stützenfuß



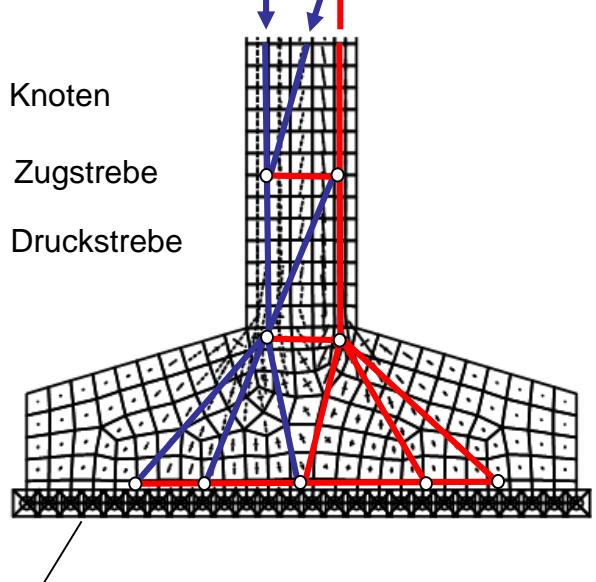
Knoten

Zugstreb

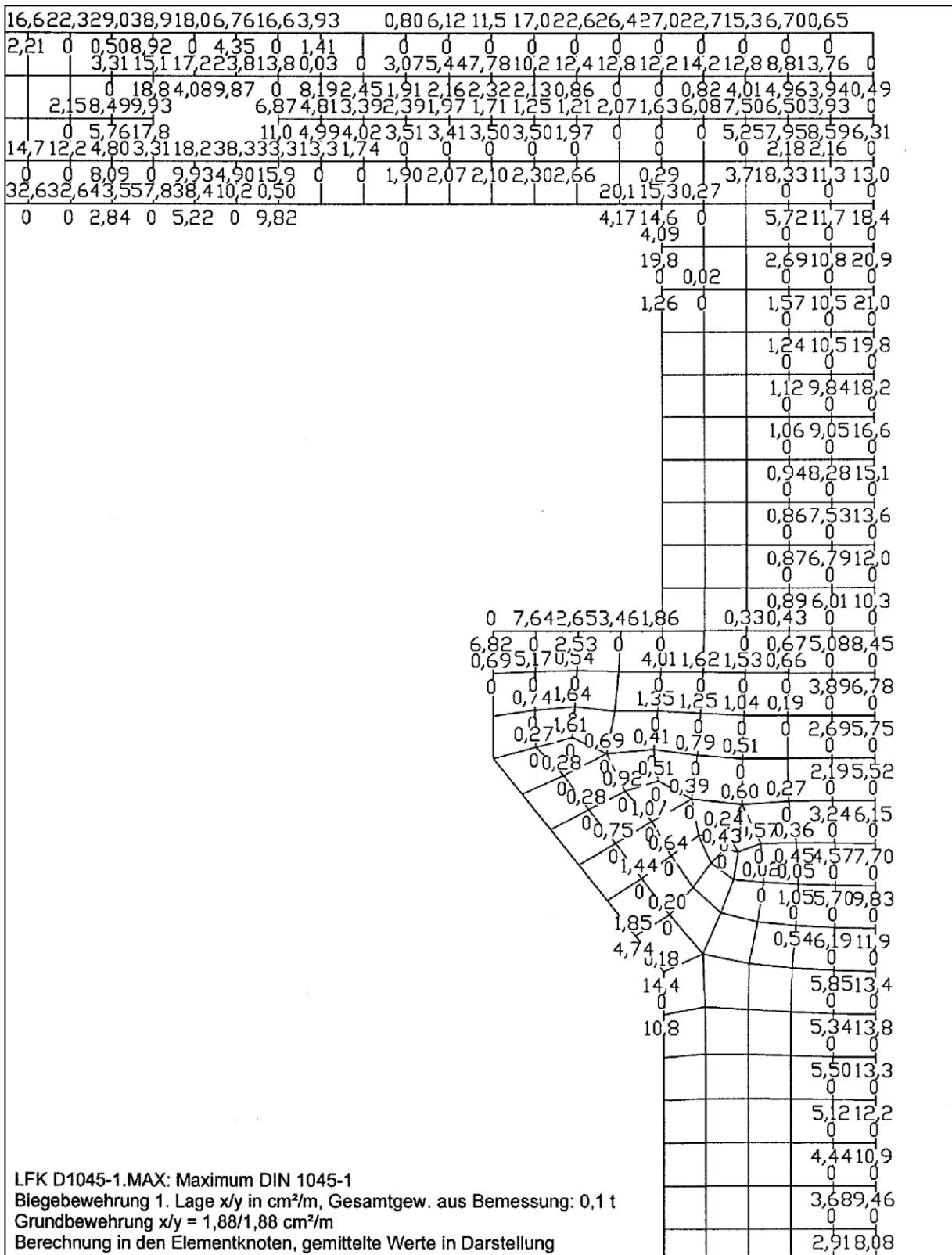
Druckstrebe

N_{Ed}
 V_{Ed}

M_{Ed}



Auflager als Zug- und Druckfeder modelliert



Ausschnitt: Rahmenecke mit Konsole aus Scheibenberechnung

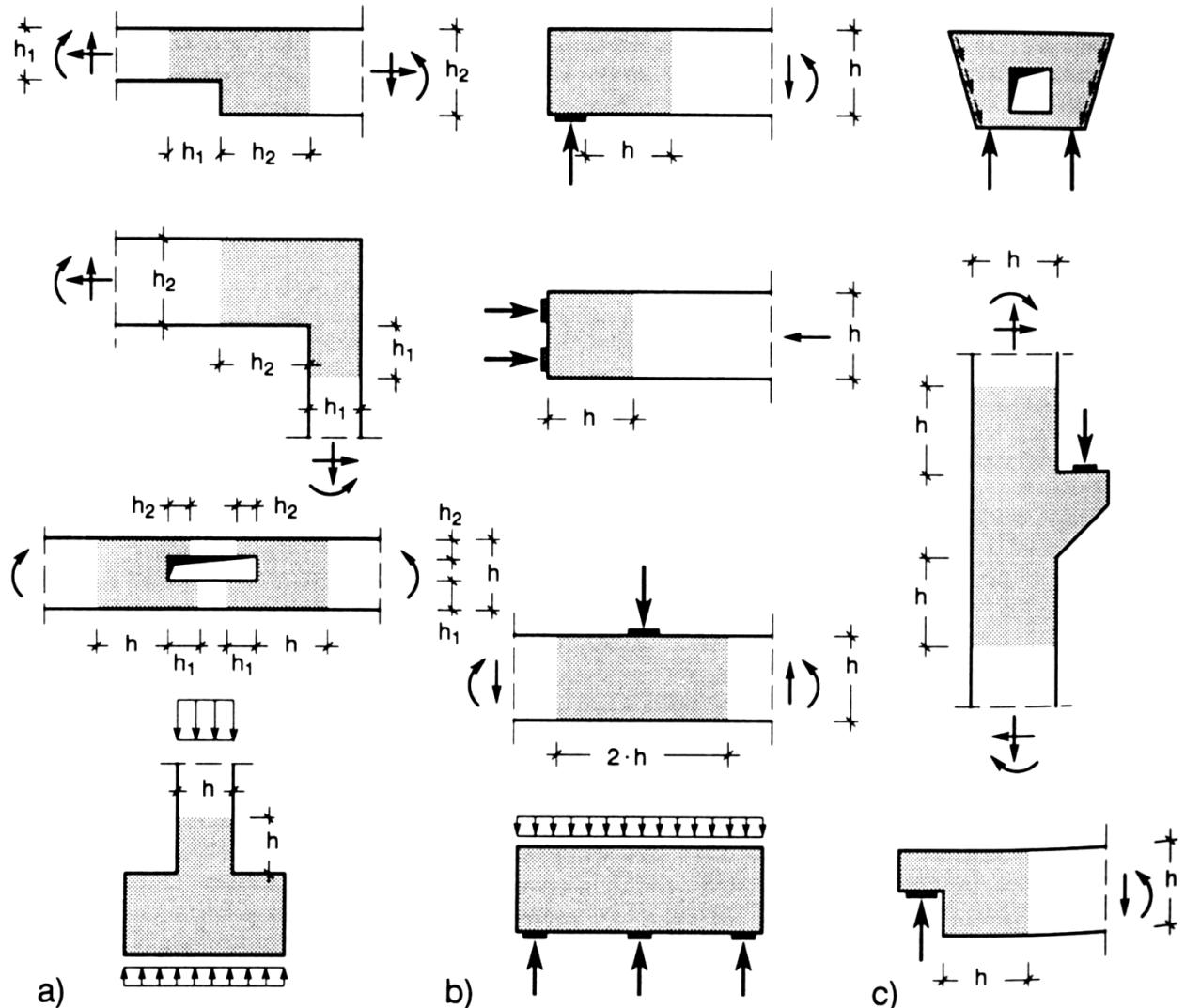
Nutzbarkeit für die praktische Umsetzung in Bewehrungsführungen so gut wie nicht gegeben

→ **Fachwerkmodelle nahezu zwingend erforderlich**

Übersicht D-Bereiche

mit nichtlinearer Dehnungsverteilung aufgrund von

- (a) geometrischen Diskontinuitäten
- (b) statischen Diskontinuitäten
- (c) beide Arten von Diskontinuitäten



[15]

Nachweisführung zu Stabwerksmodellen

In der Regel sind

- **Zugstreben** durch Bewehrung abzudecken in der Form

$$\text{erf } A_s = \frac{T_{Ed}}{f_{yd}}$$

T_{Ed} : Zugkraft der Strebe im GZT (also $T_{Ed} = \gamma \cdot T_k$)

f_{yd} : Fließspannung des Bewehrungsstahls

- **Druckstreben** nur in den Knotenpunkten zu kontrollieren.

Oft reichen einfache Prüfungen von Einleitungspressungen der Form $\sigma_c = F / A_c$ bzw. Prüfungen von Betonspannungen unter mehrachsigen Beanspruchungen. Nur selten sind detaillierte Knotennachweise nötig, hier besser konstruktiv die Knoten tragfähig ausbilden.

Nachweisformate nach EC 2 + NA (analog DIN 1045-1 oder DIN Fachberichte)

Nachweis Druckstrebe (Beton)

Nachweisgleichung

$$\sigma_{cd} = \frac{F_{cd}}{A_{c,\perp}} \leq \sigma_{Rd,max}$$

F_{cd} Druckkraft in der Betondruckstrebe

$A_{c,\perp}$ Schnittfläche senkrecht zur Strebe

Bemessungswert der Betondruckfestigkeit $\sigma_{Rd,max}$

- a) ungerissener Beton:

$$\sigma_{Rd,max} = 1,0 \cdot v_2 \cdot f_{cd}$$

- b) Risse parallel zu Rissen

$$\sigma_{Rd,max} = 0,75 \cdot v_2 \cdot f_{cd}$$

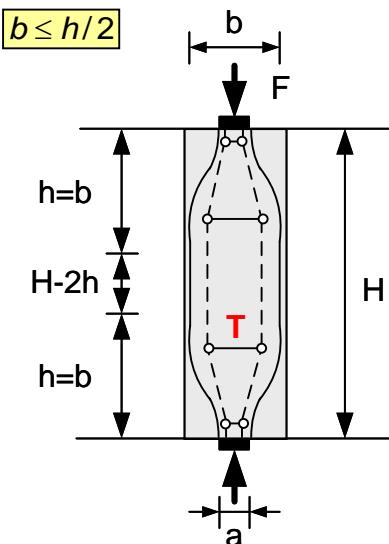
$v_2 = 1,0$ (Normalbeton)
 $v_2 = 1,1 - \frac{f_{ck}}{500}$ (Betonfestigkeitsklasse $\geq C55/67$)

- Druckstreben sind auch für **Querzug** zu bemessen

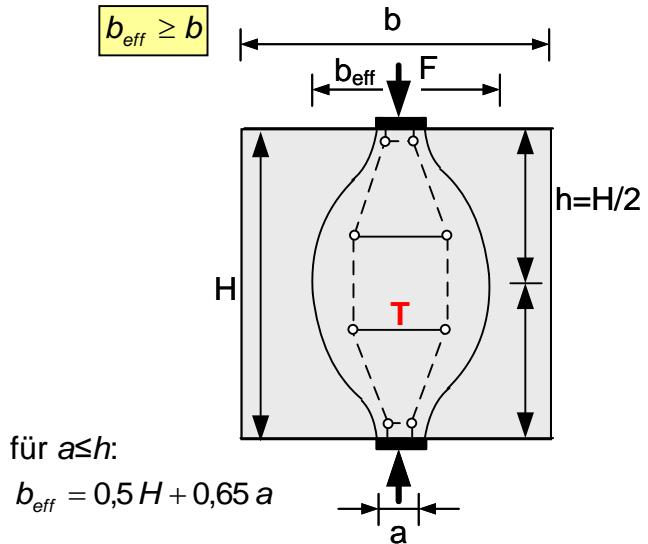
Sonderfall: Einschnürung der Strebe im Knotenbereich

- Querzugkraft im Knotenbereich kann mithilfe eines örtlichen Fachwerkmodells ermittelt werden

begrenzte Breite des Druckfeldes



freie Ausbreitung des Druckfeldes

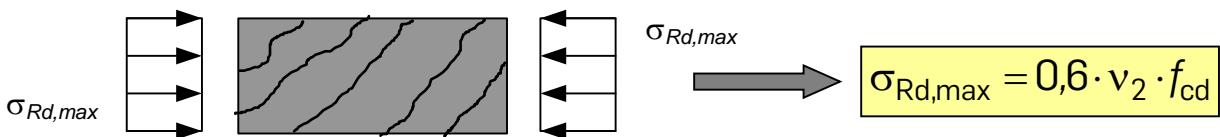


sichere Abschätzung der **Querzugkraft**:

$$T = \frac{1}{4} \frac{b-a}{b} F$$

$$T = \frac{1}{4} \left(1 - 0,7 \frac{a}{h}\right) F$$

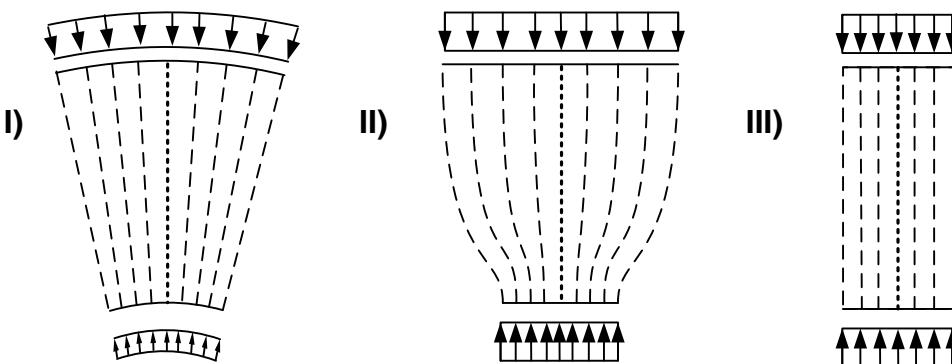
c) Risse kreuzen Druckstreben



bei sehr **starker Rissbildung** ist die Druckfestigkeit ggf. geringer

z.B.: bei kombinierter Belastung aus Querkraft und Torsion
(EC 2 Gl. 6.56 $\sigma_{Rdmax} = 0,525 v_2 f_{cd}$)

Grundsätzliche Druckstrebenarten (Druckspannungsfelder)



- I) prismatisches Druckspannungsfeld → theoretische keine Querzugspannungen
- II) flaschenförmiges Druckspannungsfeld → planmäßig Querzugspannungen
- III) präzis prismaförmiges Druckspannungsfeld → theoretisch keine Querzugspannungen

Nachweis Zugstrebe (Betonstahlbewehrung)

Nachweisgleichung

$$\sigma_{sd} = \frac{F_{sd}}{A_s} \leq f_{yd}$$

F_{sd} Zugkraft

A_s Querschnittsfläche der Bewehrung

- Stabachse im Modell muss mit der Schwerachse der gewählten Bewehrung exakt übereinstimmen
- Beschränkung der Rissbreite kann zusätzliche Bewehrungen erfordern

Nachweis Knotenpunkte

- praktische Bemessung von Knotenpunkten umfasst drei Schritte (gegenseitige Beeinflussung)

Schritt I: Entwurf der Knotengeometrie

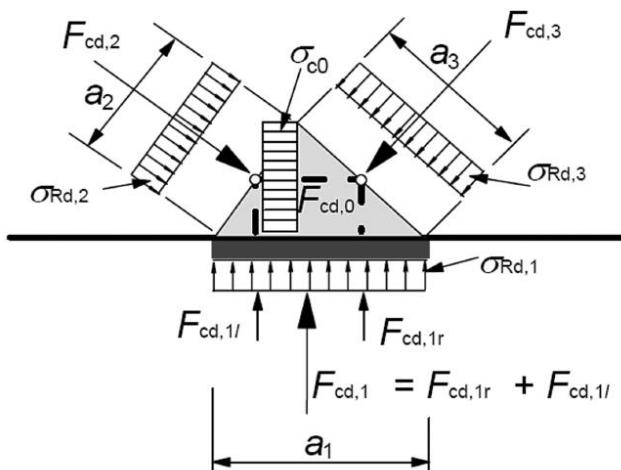
Schritt II: Nachweis der mittleren Betonpressungen

Schritt III: Nachweis sicherer Verankerung der Bewehrung im Knoten

- Begrenzung der Betondruckspannungen

- **Querzugspannungen** reduzieren die Druckfestigkeit → Knotentyp beachten
- Empfehlungen zur Begrenzung der Festigkeiten $\sigma_{Rd,max}$ gelten wenn alle Winkel zwischen Zug- und Druckstreben mindestens 45° betragen
- durch konservative Begrenzung der Druckfestigkeit ($\sigma_{Rd,max}=0,75 f_{cd}$) sind Bemessungen mit Neigungen von bis zu 30° möglich
- bei genauem Nachweis können auch höhere Werte angesetzt werden (z.B. bei Teilflächenbelastung)

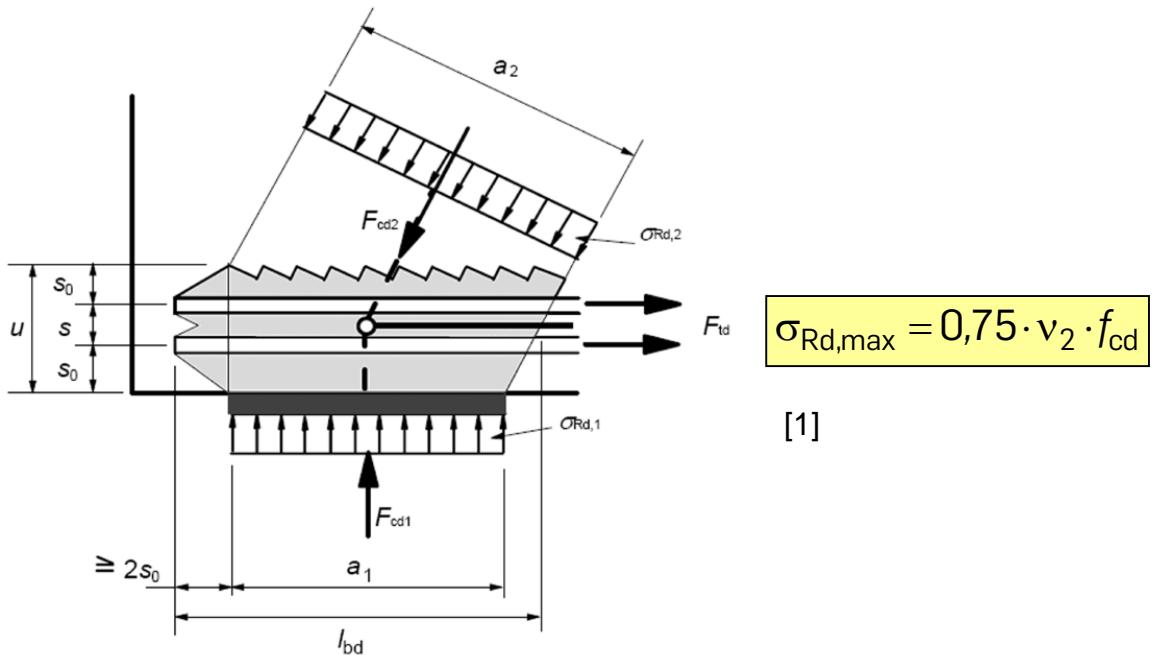
- Knotenbereich für den Nachweis von **Druckknoten**



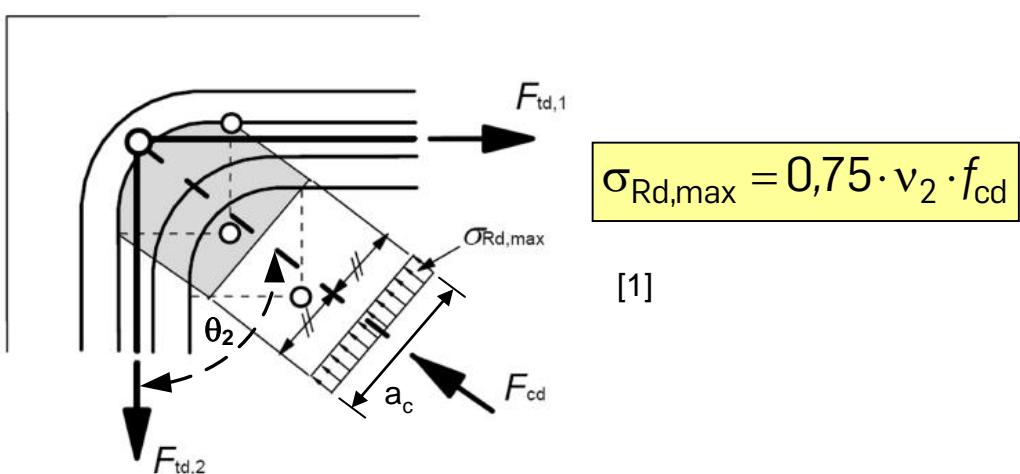
$$\sigma_{Rd,max} = 1,1 \cdot v_2 \cdot f_{cd}$$

[1]

- Knotenbereich für den Nachweis von **Druck-Zug-Knoten**



- Knoten mit **Umlenkung von Bewehrung**



Breite der Betondruckstrebe a_c ist abhängig vom Biegerollendurchmesser D_b

$$a_c = D_b \sin \theta_2$$

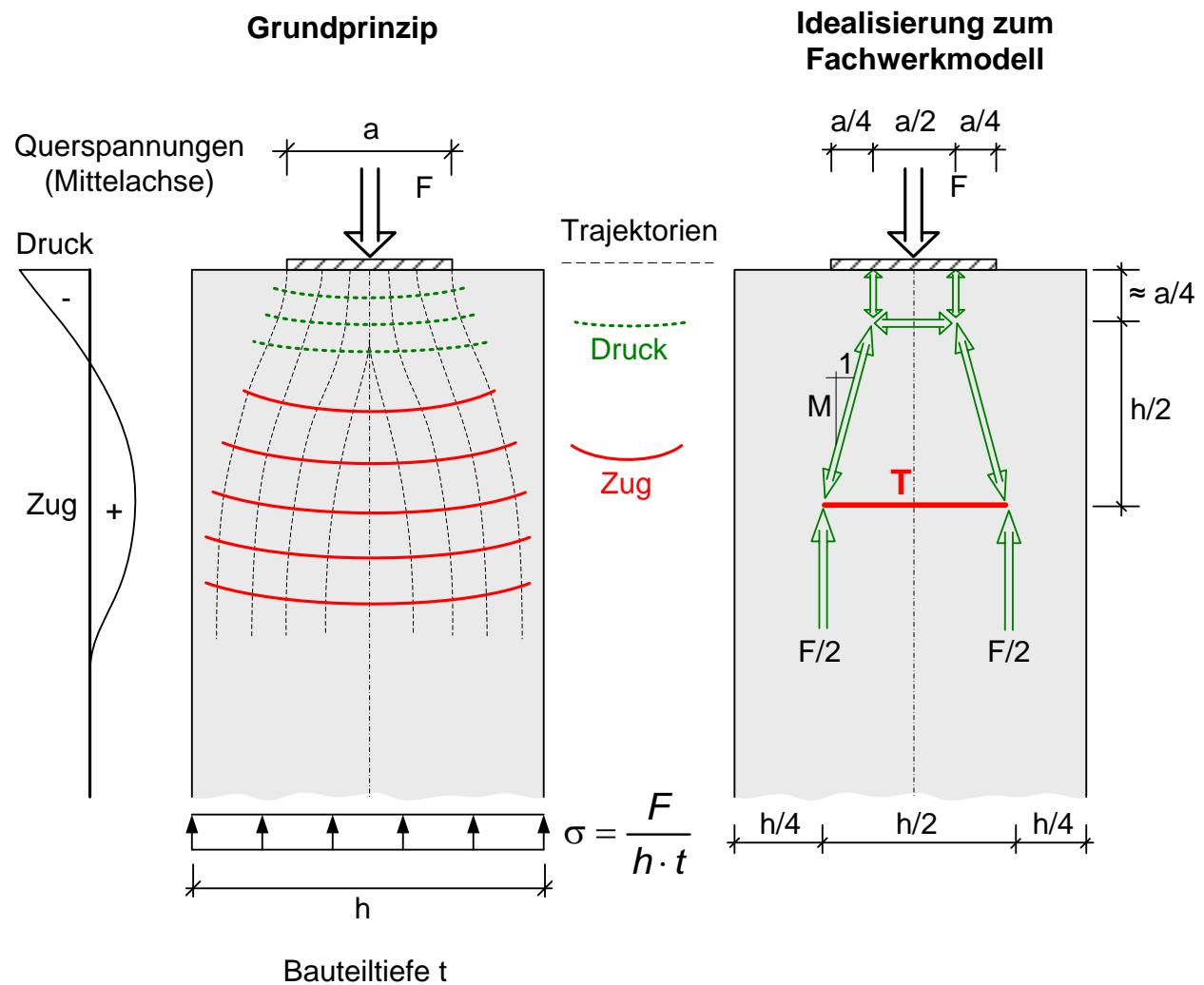
Ansatz der volle Bauteilbreite b_w im Spannungsnachweis ($\sigma_{Ed} = F_{cd} / (a_c b_w)$) setzt voraus, dass **kein Spalten** auftreten kann und **Querbewehrung** vorhanden ist

Bemessen und Konstruieren mit Fachwerkmodellen

Grundtypen und Standardmodelle

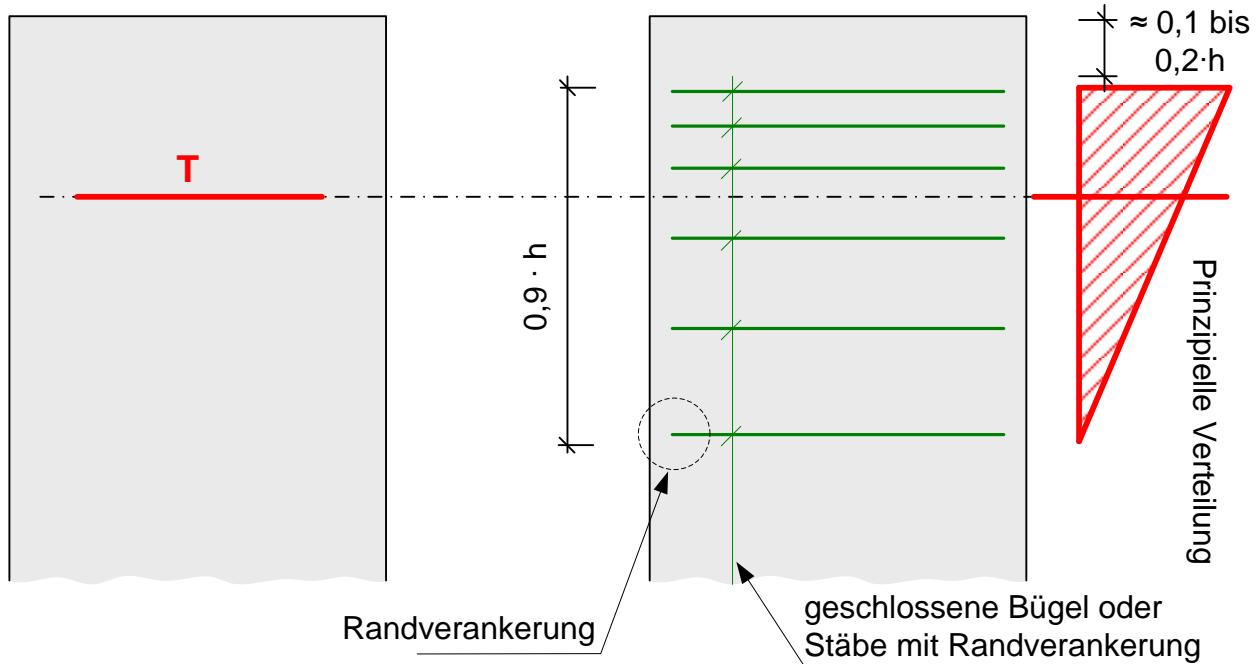
(a) Spaltzug

Lastausbreitung von punktartigen Lasten wie Lagerlasten, Spanngliedverankerungspunkten, Ankerplatten usw. auf größere Betonflächen, in der Regel mit räumlicher Ausbreitung, also Spaltzugkräften in zwei Richtungen.

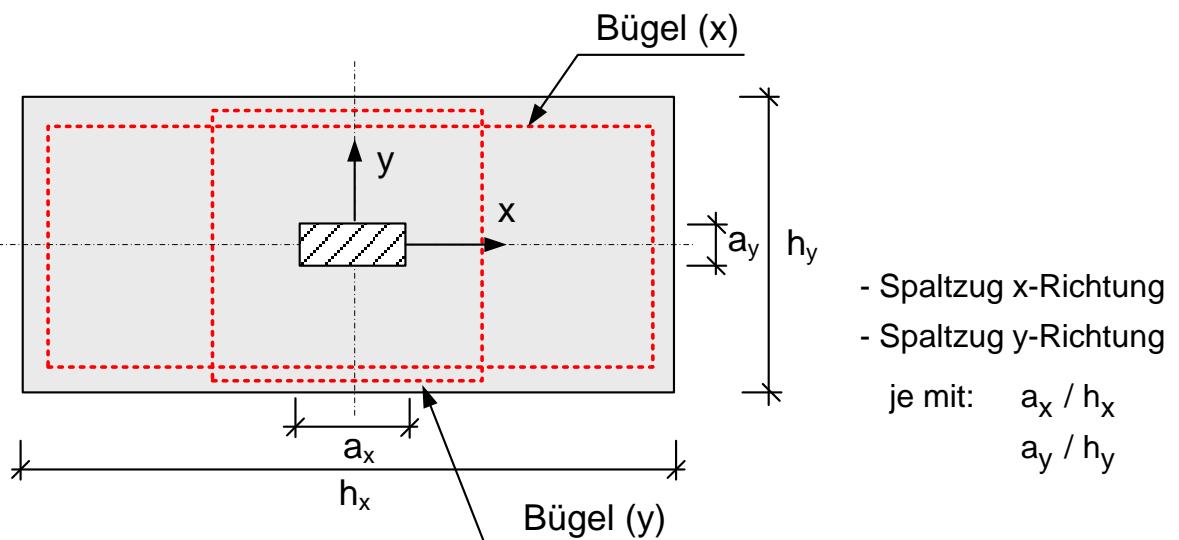


Grundprinzip der Bewehrung

Schwerachse Zugband \triangleq Schwerpunktslage der Bewehrung



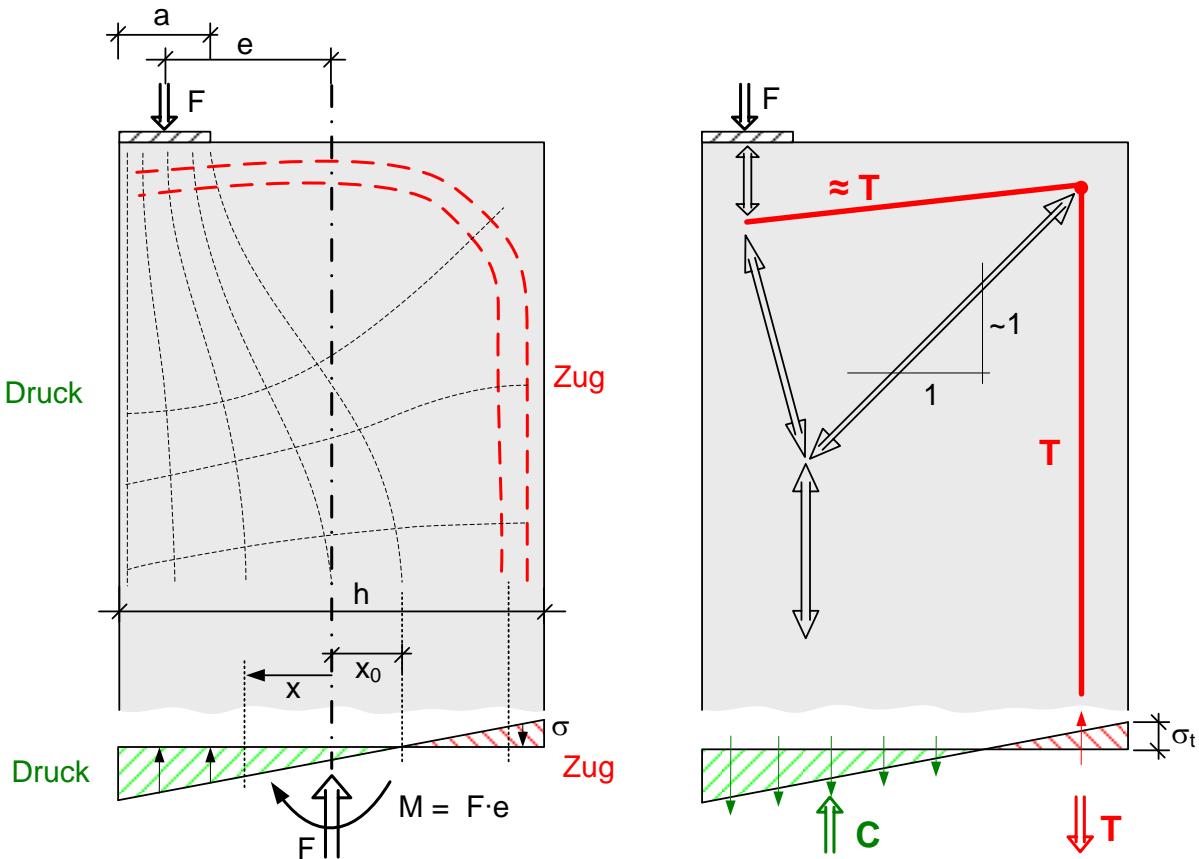
Typische Situation



$$\text{erf. } A_s = \frac{T_{Ed}}{f_{yd}} = \frac{F_{Ed}}{4} \cdot \left(1 - \frac{a}{h}\right) \cdot \frac{1}{f_{yd}}$$

b) Randzug bei exzentrischer Lasteinleitung

Lastausbreitung von exzentrisch angreifenden, punktartigen Lasten, z.B. aus Lager- und Verankerungskräften. Dabei entstehen bzgl. einer globalen Betrachtung des Systems neben Normalkraft- auch Biegewirkungen, also linear veränderliche Spannungsanteile mit Zugkeilen.



Zur Herleitung von T

$$M = F \cdot e \quad \text{und} \quad N = -F$$

$$t \cdot \sigma(x) = \frac{-F}{h} - \frac{F \cdot e \cdot 12}{h^3} \cdot x \quad (\text{Gleichgewicht in Längsrichtung})$$

$$\sigma = 0 \text{ für } \sigma(x = x_0) \rightarrow x_0 = \frac{-h^2}{12e}$$

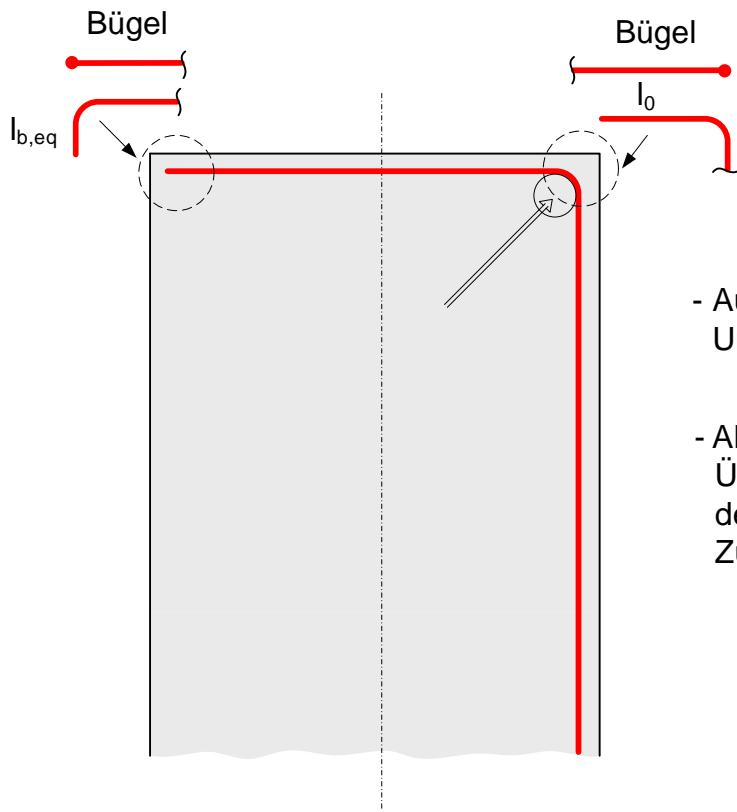
$$T = \left(\frac{h}{2} - x_0\right) \cdot \frac{\sigma_t \cdot t}{2} = \left(\frac{h}{2} - x_0\right) \cdot \left(\frac{-F}{2h}\right) \cdot \left(1 - \frac{6e}{h}\right) = \dots = \frac{F}{24} \cdot \frac{h}{e} \cdot \left(1 - \frac{6e}{h}\right)^2 \quad (\text{Zugkeil})$$

lineare Beziehung für $h/6 < e \leq h/2$ als konservative Näherung nach [34]:

$$T = F \cdot \left(\frac{e}{h} - \frac{1}{6}\right) \quad \text{für } e = h/2 \text{ ("reiner" Randzug)} \rightarrow T = \frac{F}{3}$$

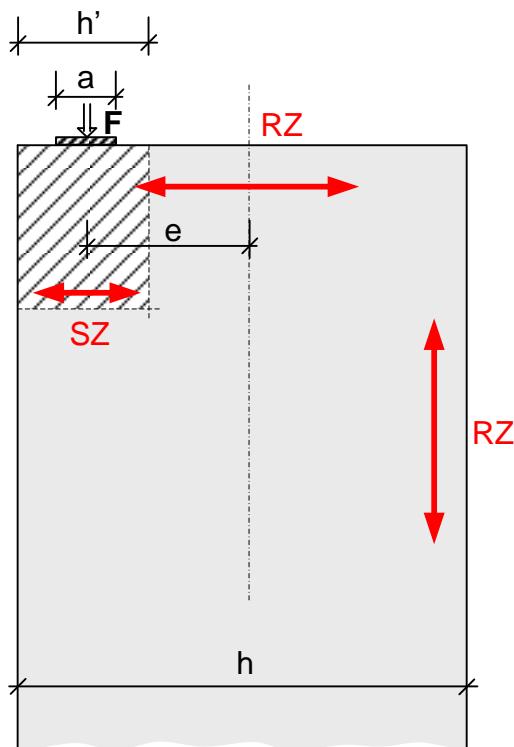
$$T \text{ aus Biegebemessung:} \quad T \approx \frac{M}{Z} - \frac{F}{2} \quad (\text{Im Anschlussbereich nach Zustand II})$$

Bewehrung am Rand

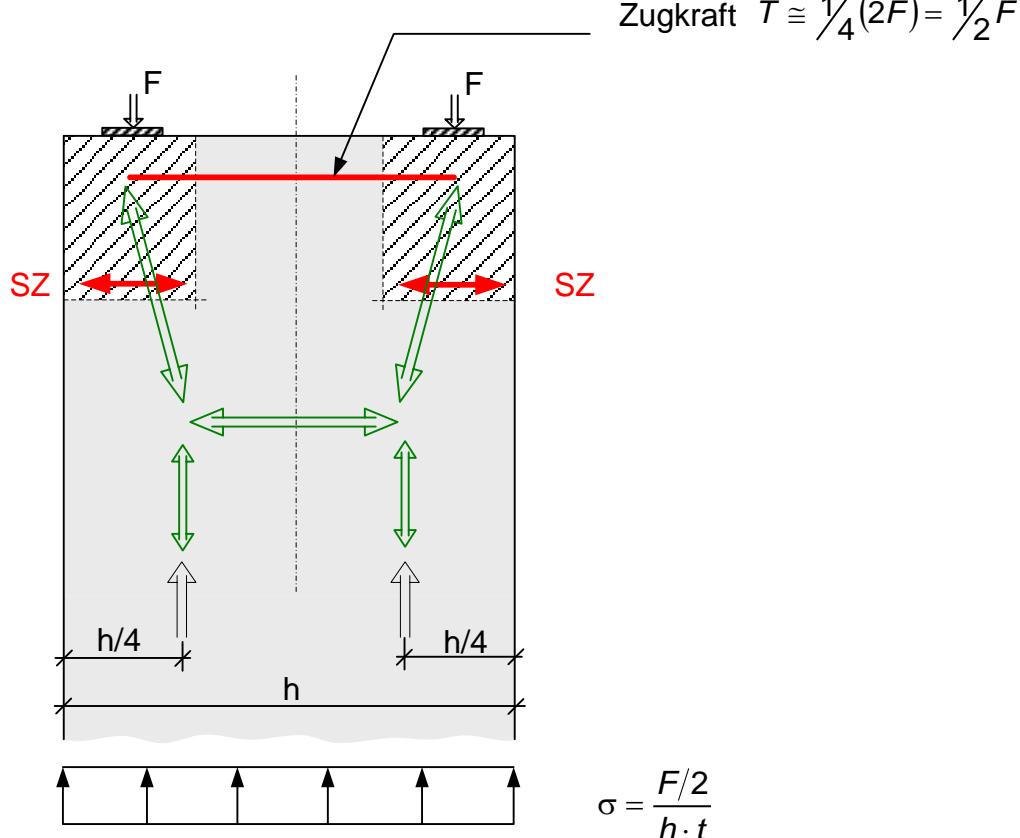


- Ausbildung als Rahmenecke, Umlenkung der Stabkraft
- Alternativ:
Übergreifende Endverankerung des seitlichen Druckstabs, oberer Zugstab als geschl. Bügel.

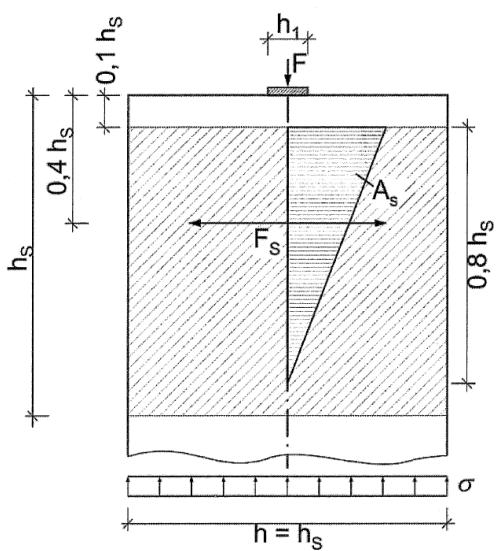
Typische Situation als Kombinationen aus Spaltzug und Randzug



- Spaltzug für Ausbreitung von a auf h'
- Randzug für $T = F \cdot \left(\frac{e}{h} - \frac{1}{6} \right)$



Spalt- und Randzugkräfte bei Teilflächenbelastungen nach DAfStb Heft 631 [36]



Mittig angreifende Längsdruckkraft

F_s : resultierende Spaltzugkraft

F : rechtwinklig auf die Teilfläche und mittig auf der Gesamtfläche wirkende Druckkraft

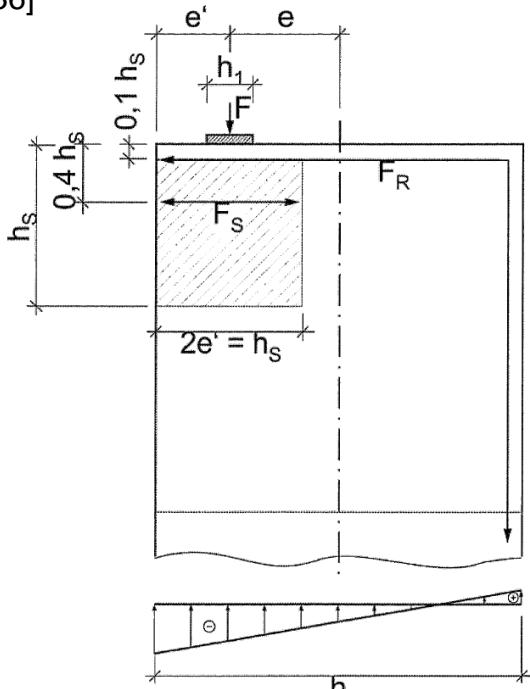
h_1 : Seitenlänge der Teilfläche

h_s : Seitenlänge der Verteilungsfläche

Konstruktive Randbewehrung

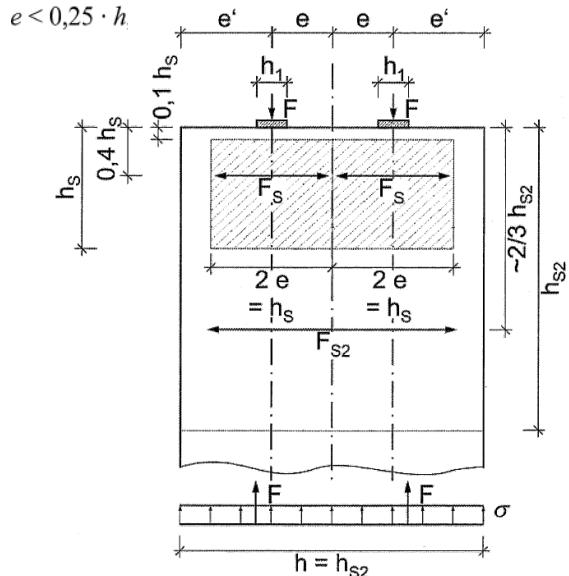
Ausmittig angreifende Längsdruckkraft

[36]



$$F_R = F \cdot \left(\frac{e}{h} - \frac{1}{6} \right) \geq 0 \quad F_S = \frac{F}{4} \cdot \left(1 - \frac{h_1}{h_s} \right)$$

Druckkräfte, deren WL innerhalb der Spannungsresultierenden liegen

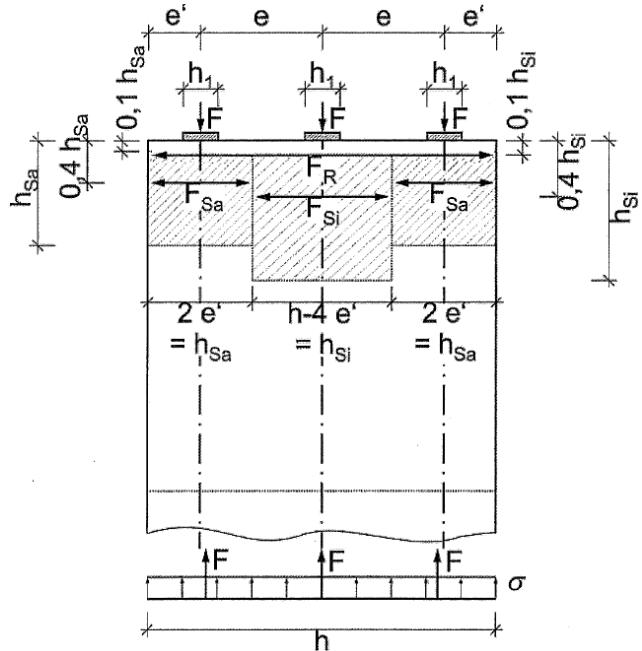


$$h_s = \min(2 \cdot e, 2 \cdot e')$$

$$F_{S2} = \frac{\sum F}{4} \cdot \left(1 - \frac{\sum h_s}{h_{s2}} \right) \geq 0$$

$$F_S = \frac{F}{4} \cdot \left(1 - \frac{h_1}{h_s} \right)$$

Druckkräfte, deren Wirkungslinien (WL) mit den WL der Spannungsresultierenden annähernd zusammenfallen



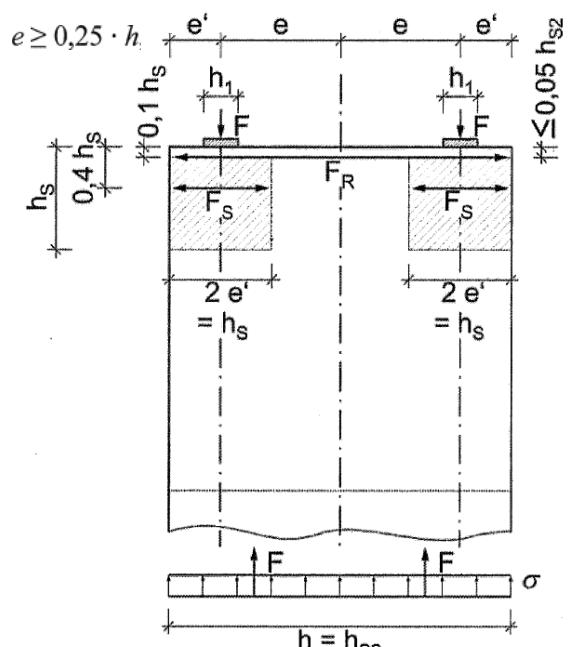
$$F_S = 3 \cdot F \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot e + h_1}{h} \right) \quad (\text{für } e/h \leq 0,3)$$

$$F_R = F \cdot \left(2,5 \cdot \frac{e}{h} - 0,85 \right) \geq 0,085F$$

$$F_{S,S} = 0,5 \cdot F \cdot \left(4 \cdot \frac{e}{h} - 1 \right) \cdot \left(1 - 3 \cdot \frac{h_1}{h} \right)$$

[36]

Druckkräfte, deren WL außerhalb der Spannungsresultierenden liegen

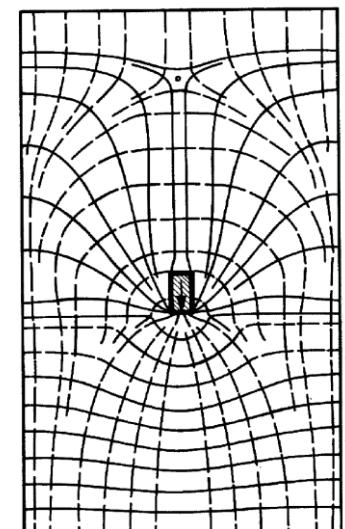


$$h_s = \min(2 \cdot e, 2 \cdot e')$$

$$F_S = \frac{F}{4} \cdot \left(1 - \frac{h_1}{h_s} \right) \quad F_R = F_{s,F} \quad (\text{nach Tabelle S. 130})$$

c) Lasteinleitung im Träger (Rückhängung)

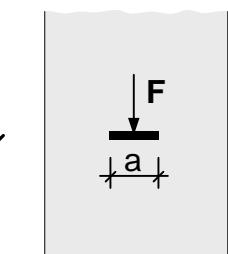
Werden (punktartige) Lasten innerhalb eines Baukörpers oder an seinem Rand (mit nach Außen weisender Kraftrichtung) eingeleitet, entstehen aus der Einleitung, aber auch aus Kontinuitätsgründen des Zusammenhalts **Zugspannungsfelder**, welche durch Bewehrung (dominant Rückhängebewehrung) abzudecken sind. Beispiele sind Verankerungen von **Spanngliedköpfen** oder unten an Trägern **angebrachte Lasten**.



Grundprinzip „Rückhängung“

Aufteilung in zwei Anteile

Anteil 1 → Spaltzug

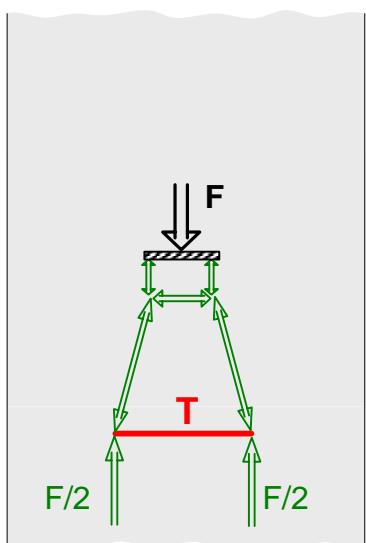


Anteil 2 → Rückhängung

$$\sigma = \frac{F/2}{h \cdot t}$$

Optimal: leicht geneigt
zur Aufnahme der
Schrägkomponenten

je Seite für $F/4$ auslegen



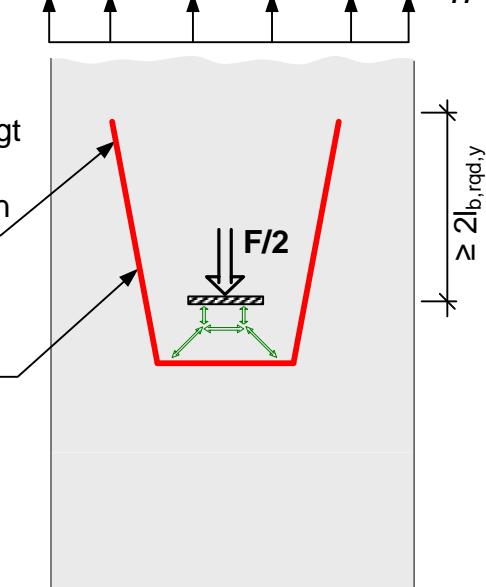
(Bauteiltiefe t)

h



$$\sigma = \frac{F}{h \cdot t}$$

Anteil 1 aus Spaltzug
für die volle Kraft F nach
bekanntem System



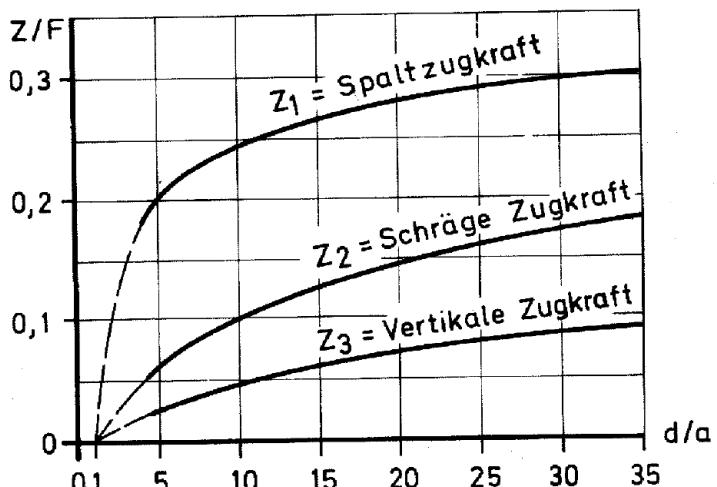
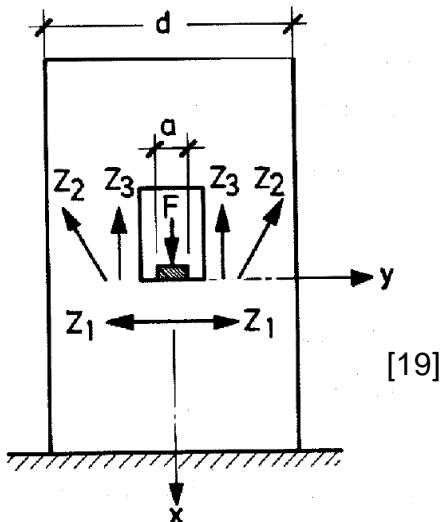
Anteil 2 aus Kontinuitäts-
gründen für ca. $F/2$ auslegen

$$\text{erf } A_s = \frac{\gamma \cdot F/2}{f_{yd}}$$

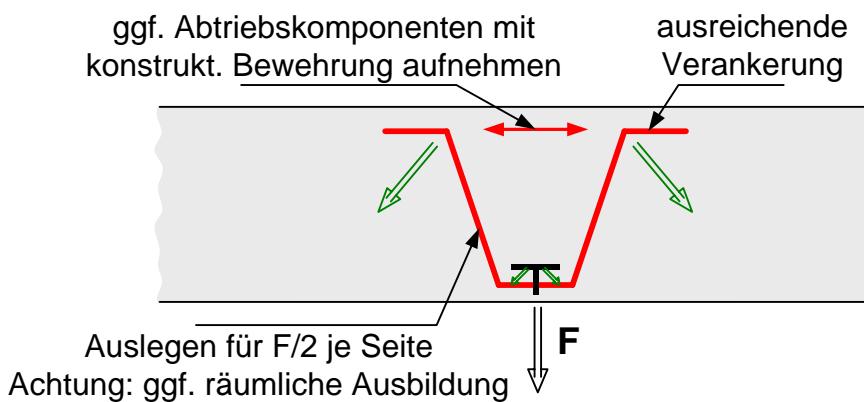
Rückhängebewehrung

Mindestens $2 \cdot l_b, \text{rqd}, y$ hinter den Ankerpunkt führen

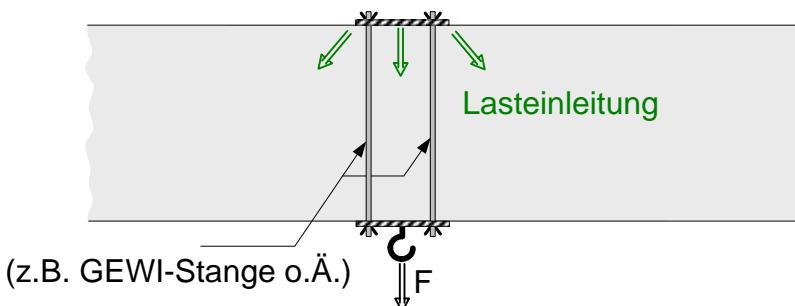
Größe der Spaltzugkräfte Z₁ bis Z₃ in einer in ihrem Inneren belasteten Scheibe



Grundprinzip „angehängte Lasten“



- Rückhängung und Verankerung der angehängten Last an der Oberseite des Trägers
- Lasteinleitung am unteren Punkt beachten, z.B.
 - Ankerplatte mit angeschweißter Rückhängung
 - Rückverankerung hinter die umgreifende Bewehrung und Rückhängung
 - weitere Möglichkeiten

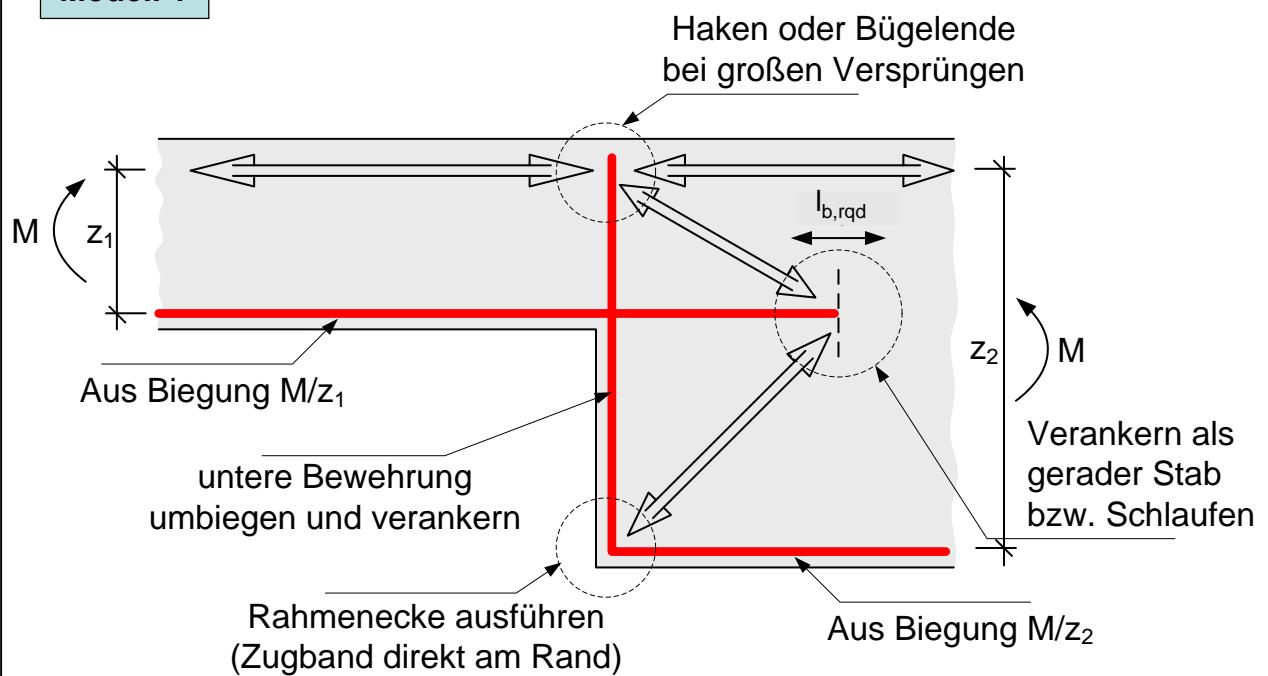


d) Querschnittssprung

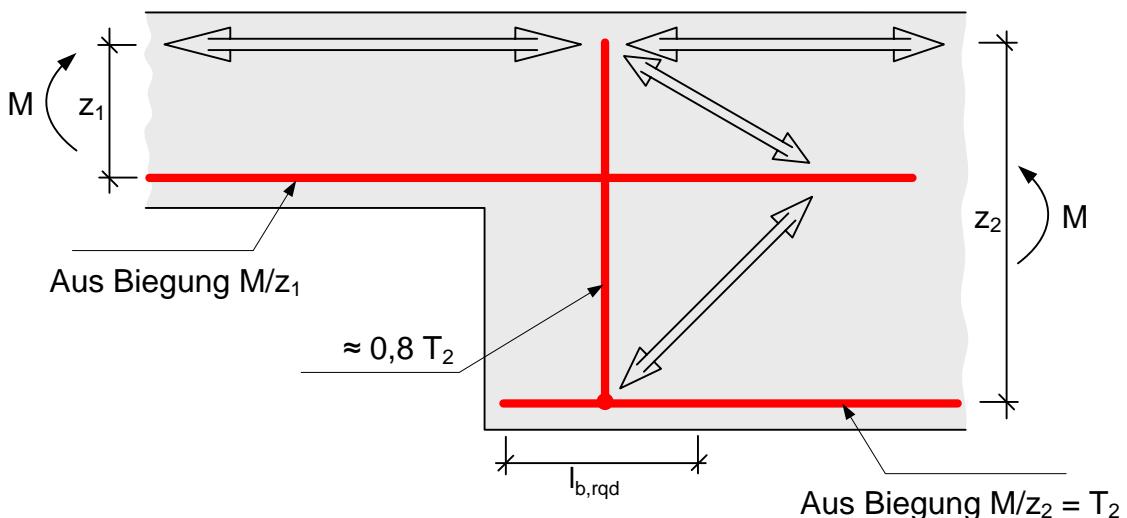
Querschnittssprung bei Biegung

1) positives Biegemoment

Modell 1

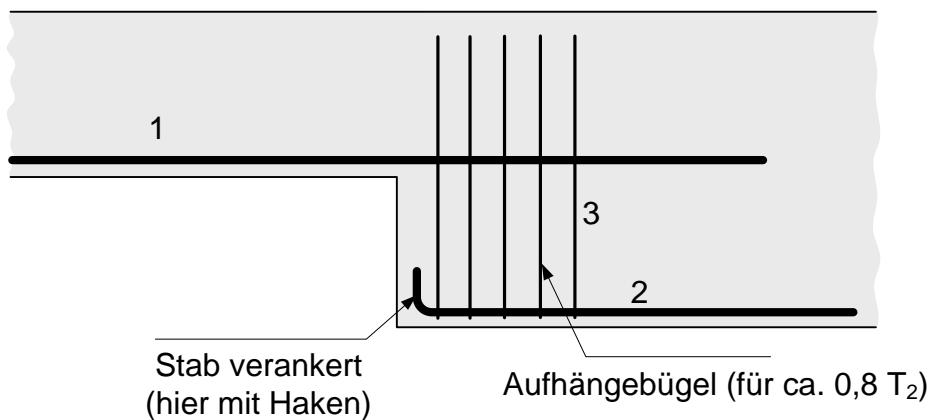
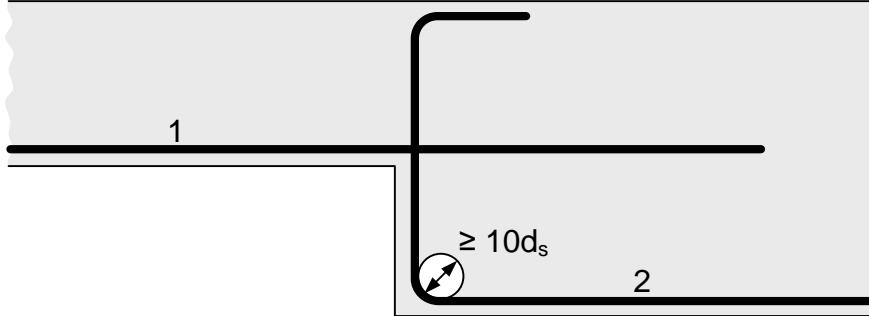


Modell 2 (Alternative)

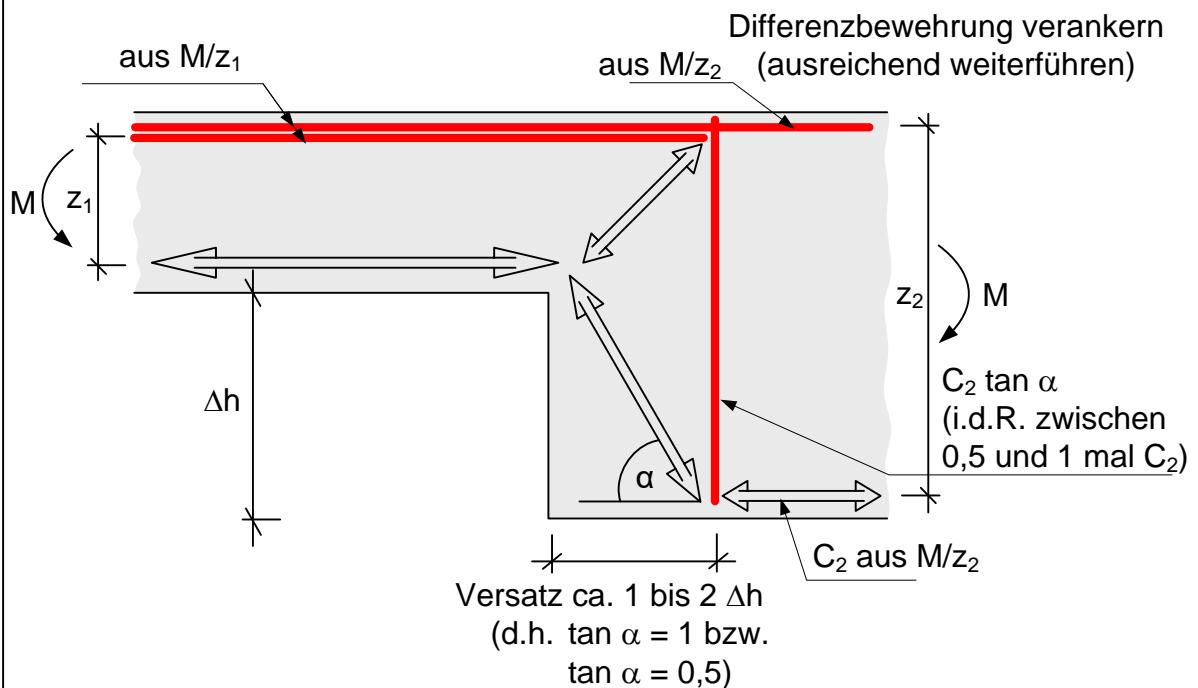


Bewehrungsskizzen

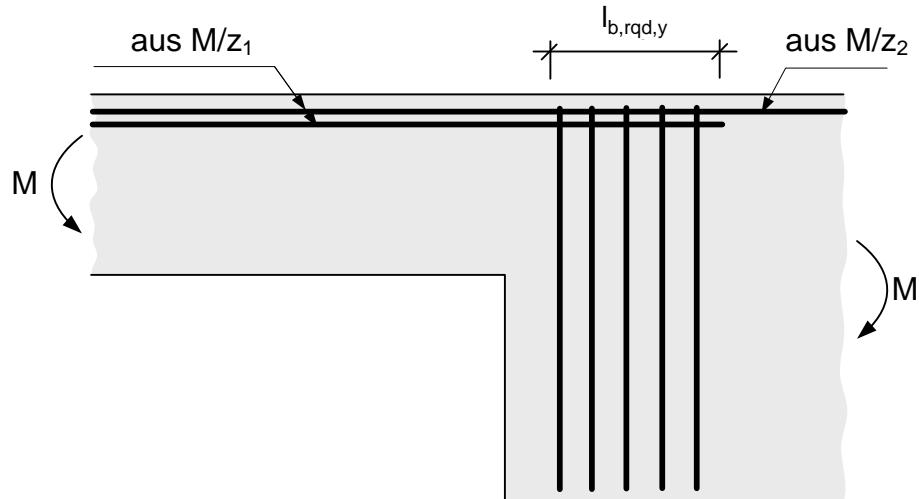
zu 1)



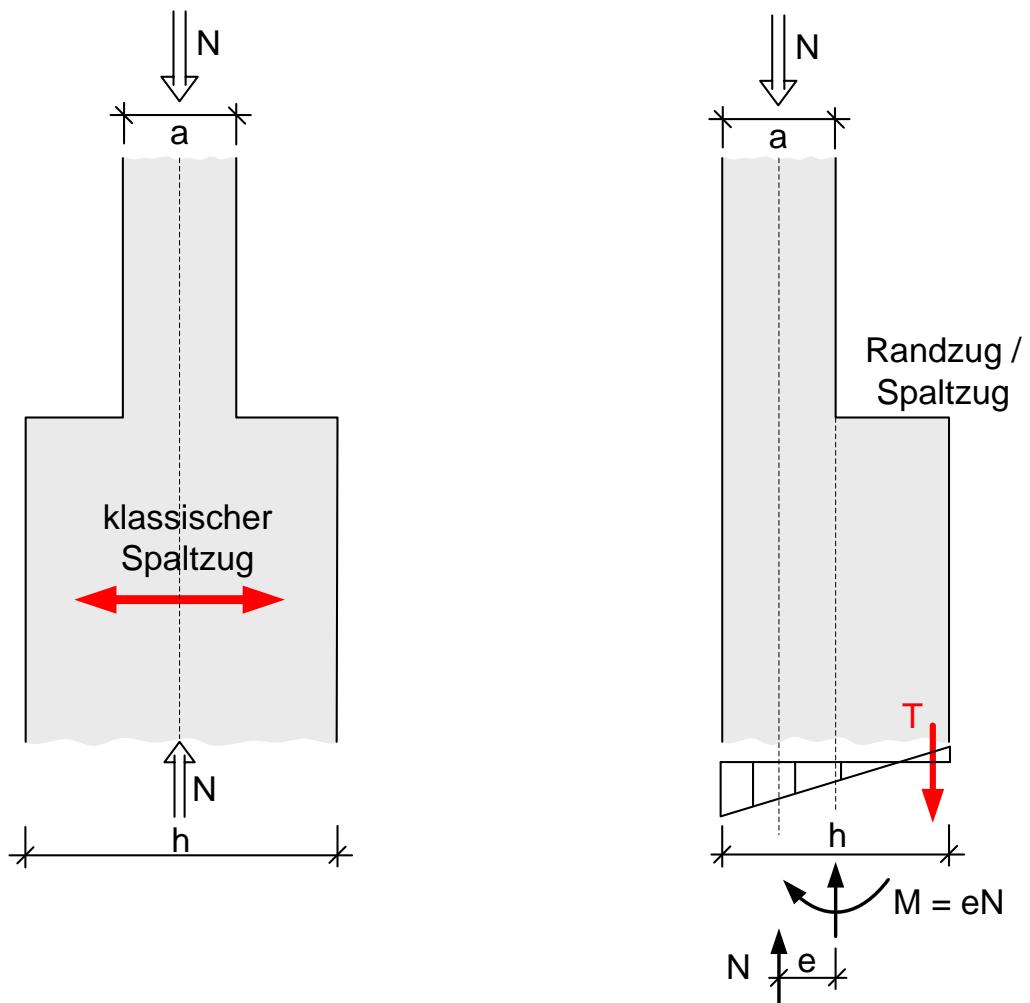
2) negatives Biegemoment



Bewehrungsskizze

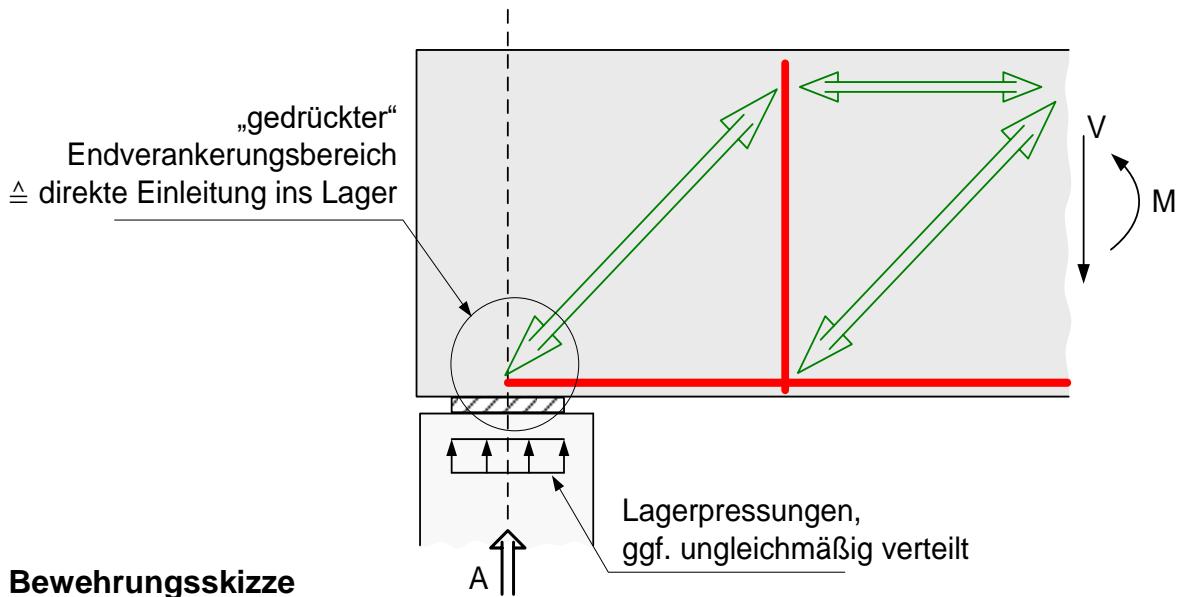


Querschnittssprung bei Normalkraft

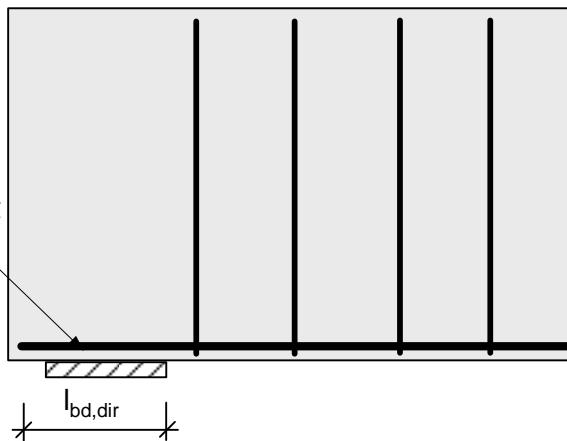


e) Direkte und indirekte Lagerungen

Grundprinzip „Direkte Lagerung“

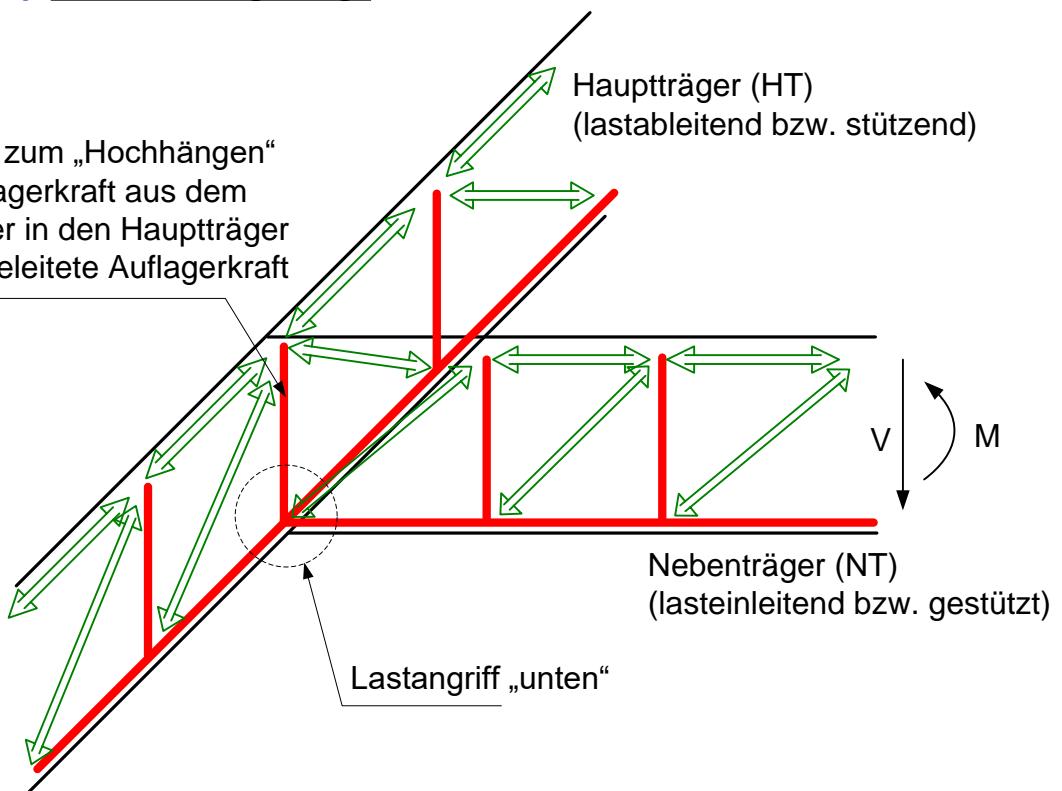


Endverankert ggf. mit
Schlaufen, Haken



Grundprinzip „Indirekte Lagerung“

Zugstrebe zum „Hochhängen“
der Auflagerkraft aus dem
Nebenträger in den Hauptträger
für die eingeleitete Auflagerkraft



Aufhängebewehrung

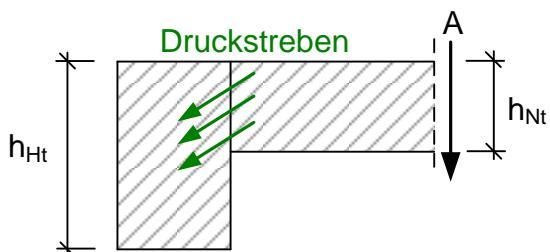
$$\text{erf } A_s = \frac{h_{NT}}{h_{HT}} \cdot \frac{A \cdot \gamma}{f_{yd}}$$

A:

Auflagerkraft aus dem NT

h_{NT}/h_{HT} :

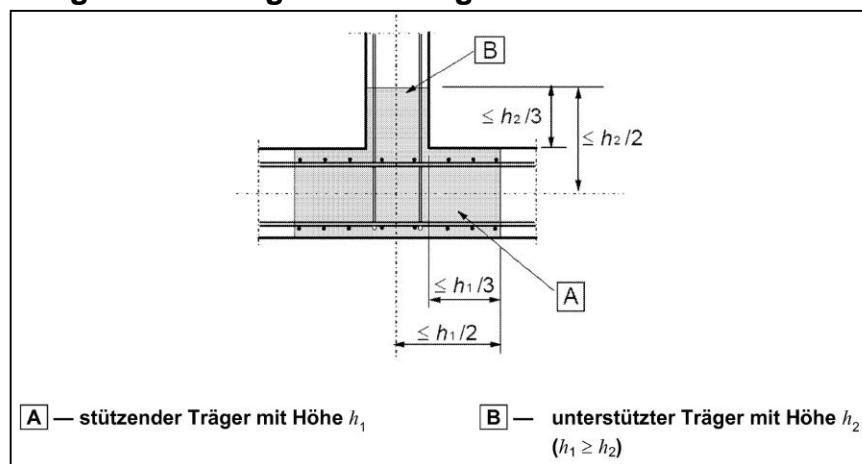
Höhenverhältnis von Neben- zu Hauptträgern



für $h_{NT}/h_{HT} \leq 1/3$ und Einleitung oben,
lediglich konstruktive Aufhängebewehrung erf.

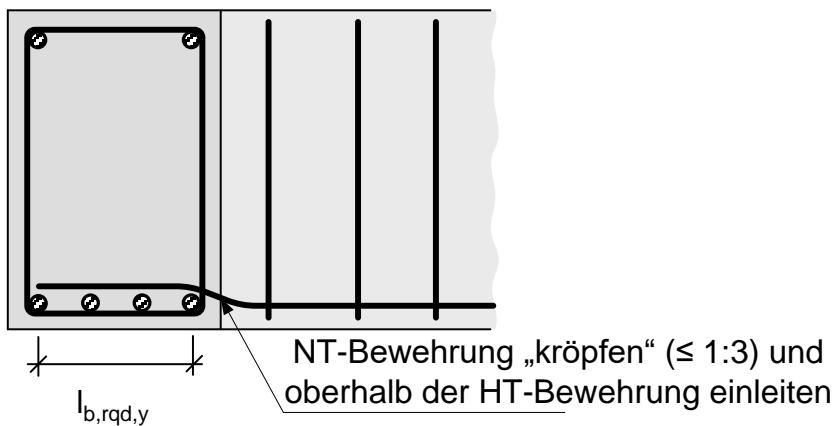
Mögliche Verteilung der Aufhängebewehrung

[1] [2]



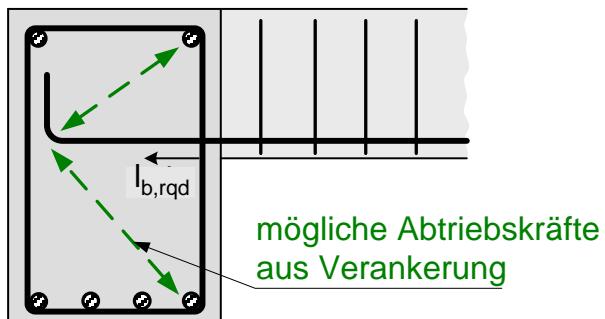
Konstruktionshinweise

$$h_{HT} = h_{NT}$$

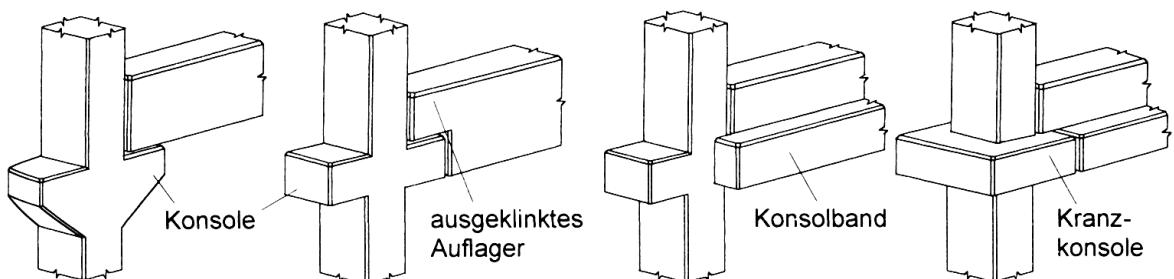


Prinzip: „NT (geringere Beanspruchung) weicht HT (höhere Beanspruchung) aus.“

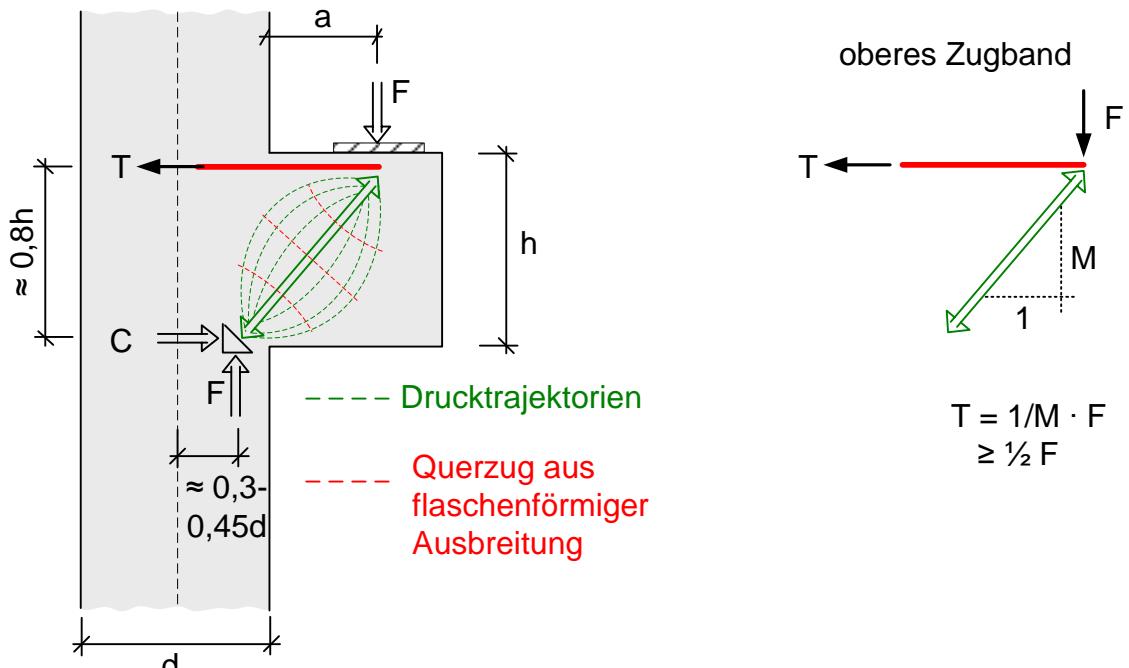
$$h_{HT} \geq h_{NT}$$



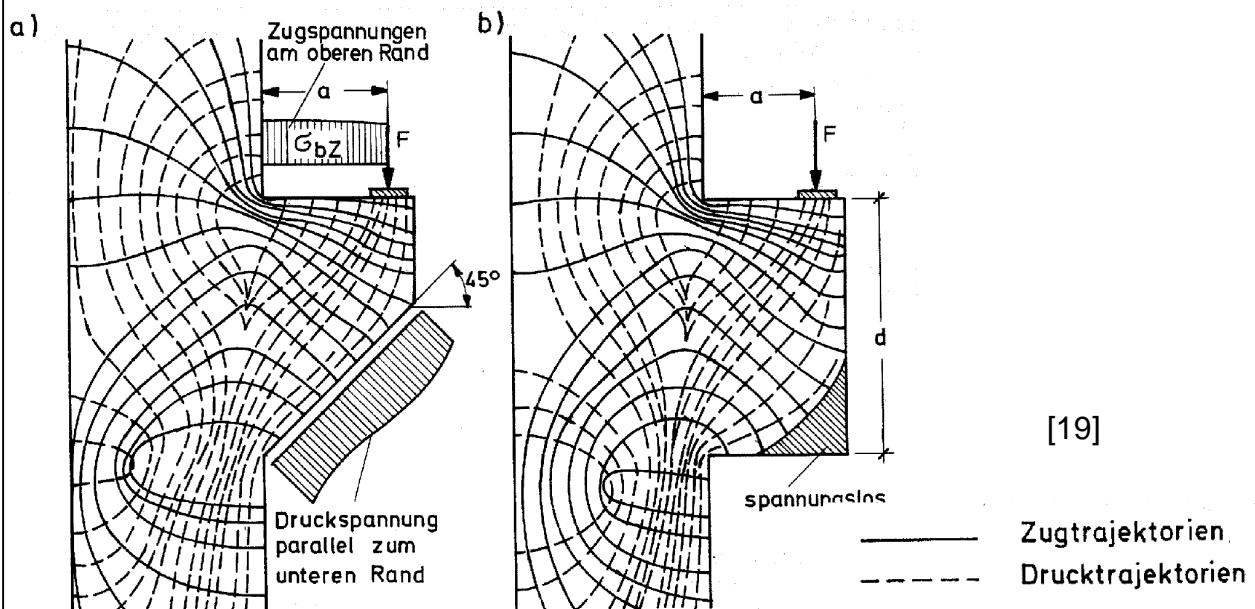
f) Konsolen bzw. ausgeklinkte Auflager



Grundprinzip des Lastabtrags (Konsole)



Richtung und Größe der Hauptspannungen in Konsolen ($a/d = 0,5$)



Bewehrung:

(nach DAfStb-Heft 525 [20] und [10])

a) Zugband, aus Druckstrebenneigung θ ($1/M$)

$$A_{s,Zugband} = F_{Ed} \cdot \frac{\cot(\theta)}{f_{yd}}$$

b) Bügel, Nachweis Querzugspannungen

1) $a/h \leq 0,5$

- horizontale Bügel $\geq 0,5 \cdot A_s$ des Zugbandes
- vertikale Bewehrung konstruktiv

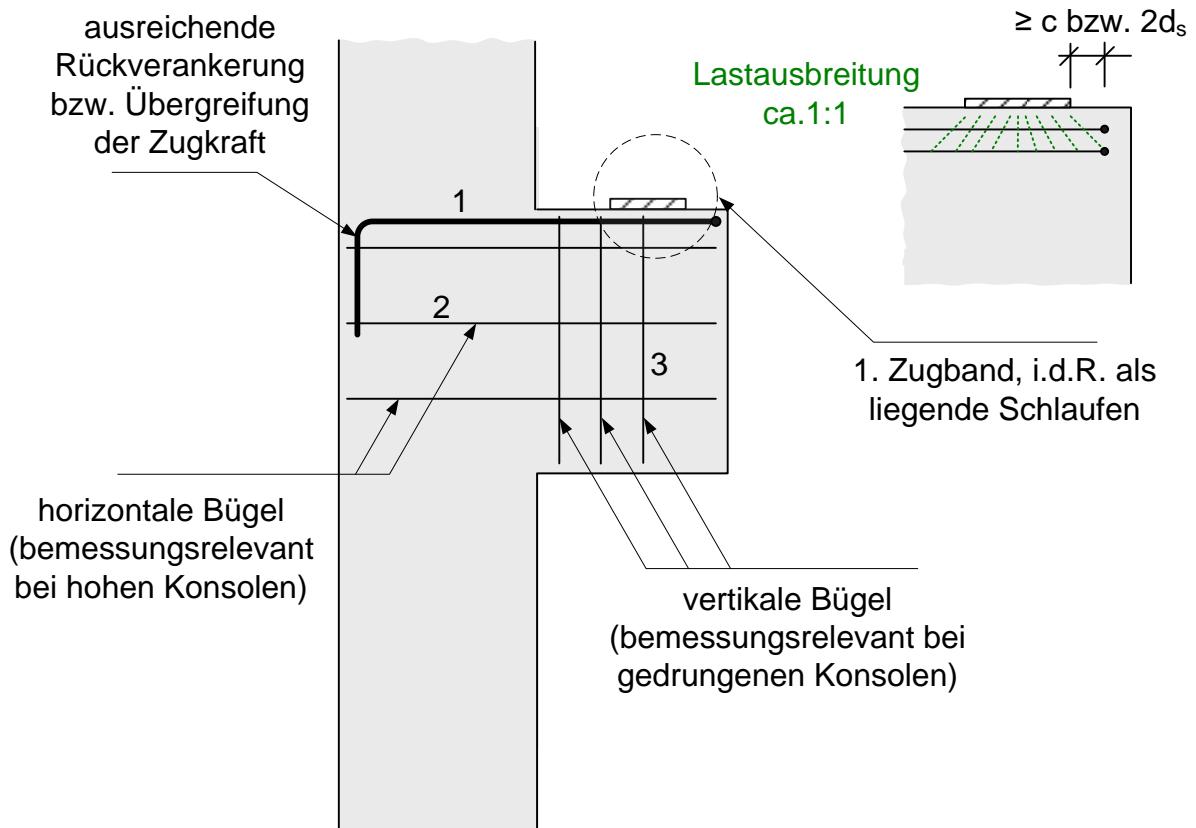
$$A_{s,Bü} = 0,5 \cdot A_{s,Zugband}$$

2) $a/h > 0,5$

- horizontale Bewehrung konstruktiv
- vertikale Bügel aus $0,7 F_{Ed}$, also

$$A_{s,Bü} = \frac{0,7 \cdot F_{Ed}}{f_{yd}}$$

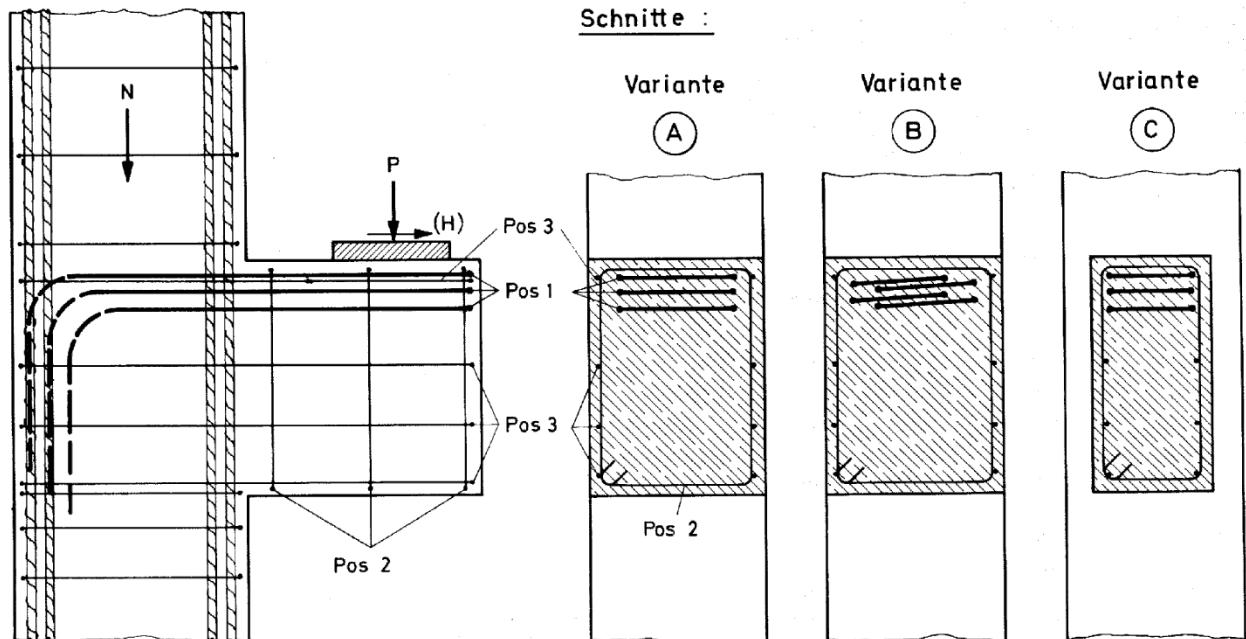
Bewehrungsskizzen



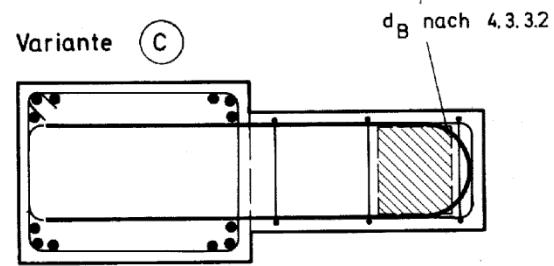
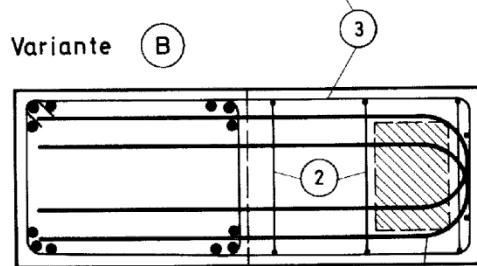
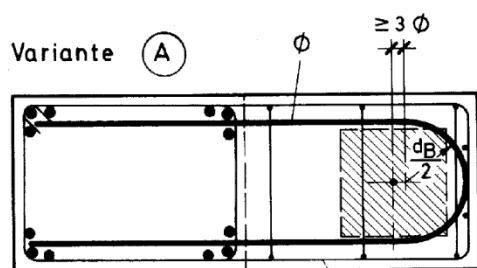
Zweckmäßige Bewehrung von Konsolen

[6]

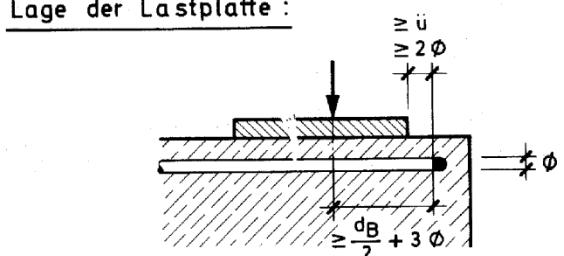
bei kleinen Zugkräften genügt eine Bewehrungslage für Pos. 1



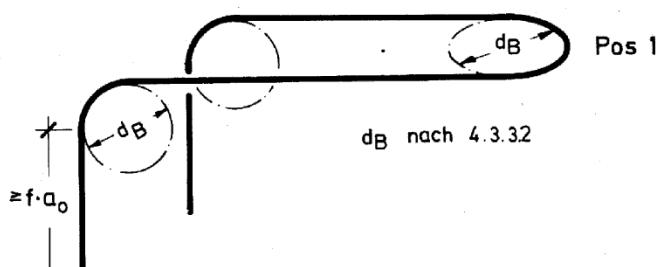
Grundrisse :



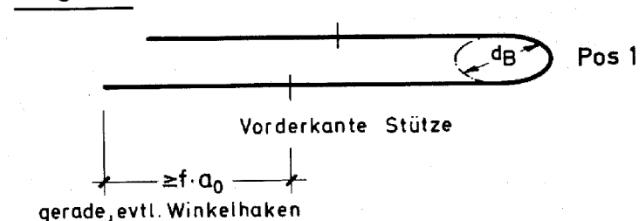
Lage der Lastplatte :



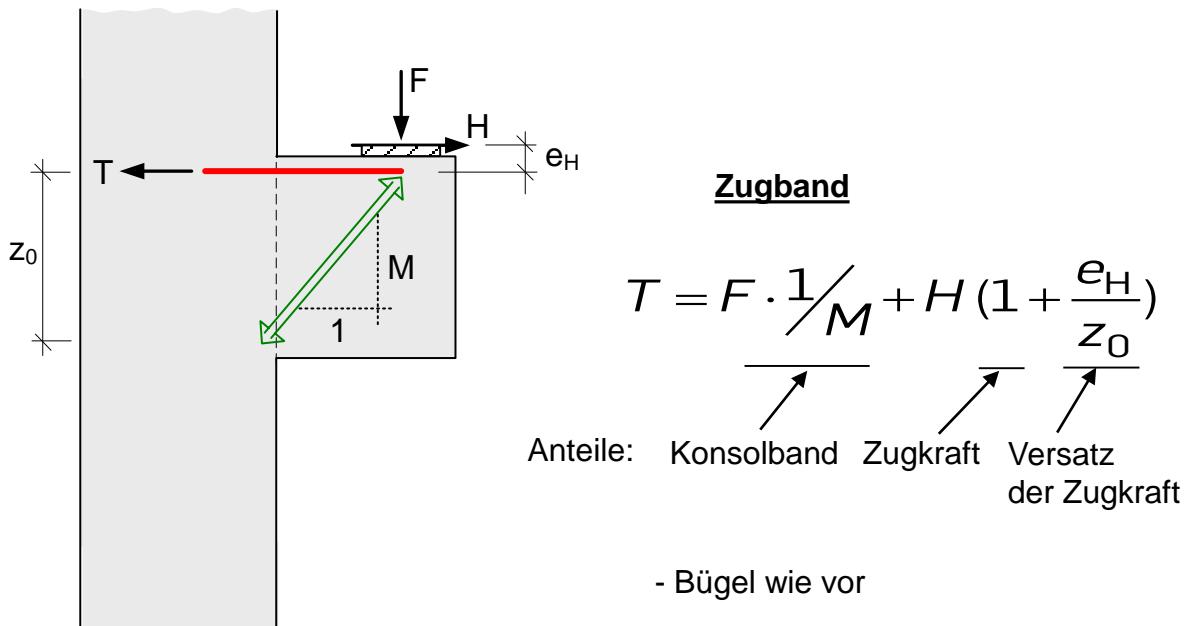
N klein :



N groß :



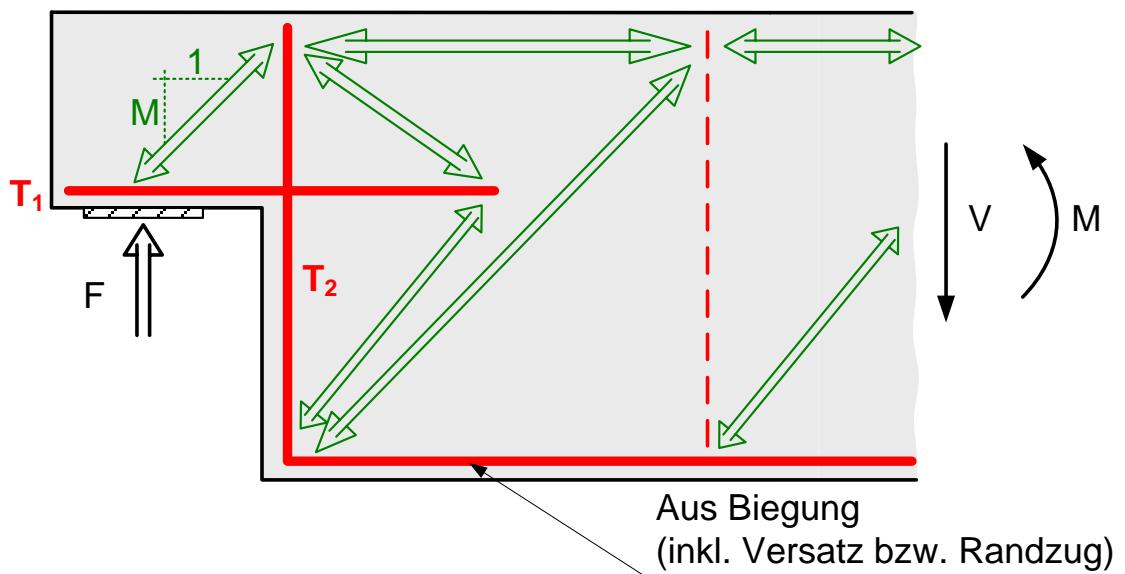
Konsole mit zusätzlicher Zugkraft



Ausgeklinkte Auflager

Grundprinzip des Lastabtrags, mögliche Modellvorstellungen

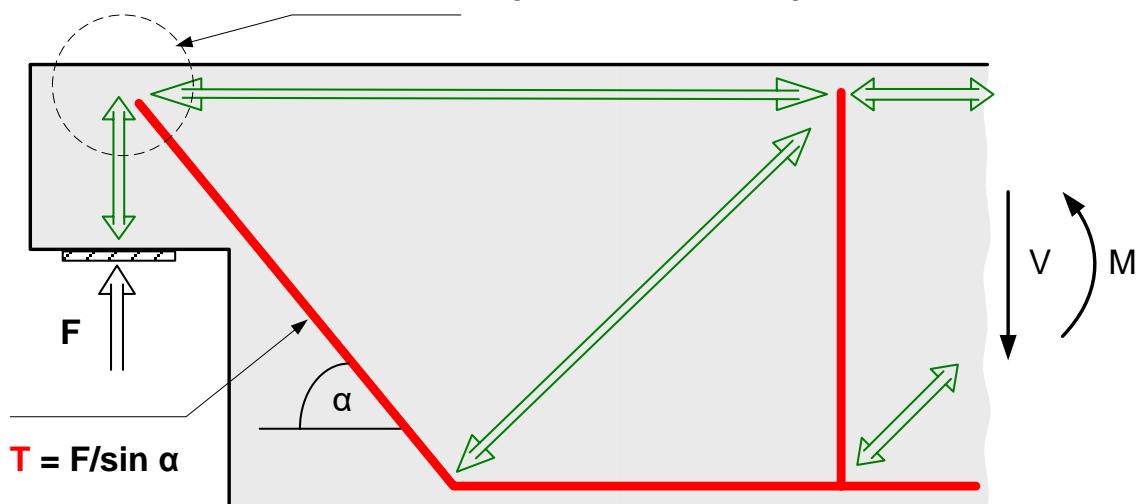
Modell 1) (vertikale Aufhängebewehrung und endverankerte Konsolbewehrung)



$$\left. \begin{array}{l} T_1 = \frac{1}{M} \cdot F \\ T_2 = F \end{array} \right\} \text{Zugkräfte zur Bewehrungsermittlung}$$

Modell 2) (schräge Aufhängebewehrung mit vertikaler Konsolkrafteinleitung)

z.B. schlaufenartige Endverankerung



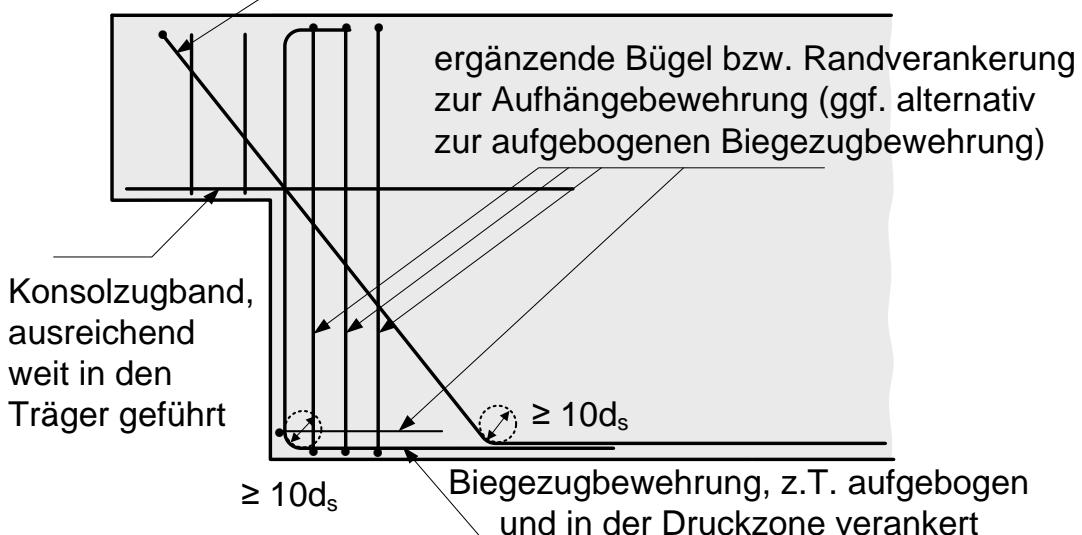
Achtung: **T ist größer als F** selbst, also entgegen der Vorstellung von Reduzierung von Schubbewehrungsmengen bei Bügelneigungen, z.B. $\alpha = 45^\circ$, $T = 1,41F$

Praktische Anwendung:

Modell 1) als Grundmodell und Modell 2) hinzukombinieren
(z.B. Aufteilung 70/30 oder 50/50)

Bewehrungsskizze

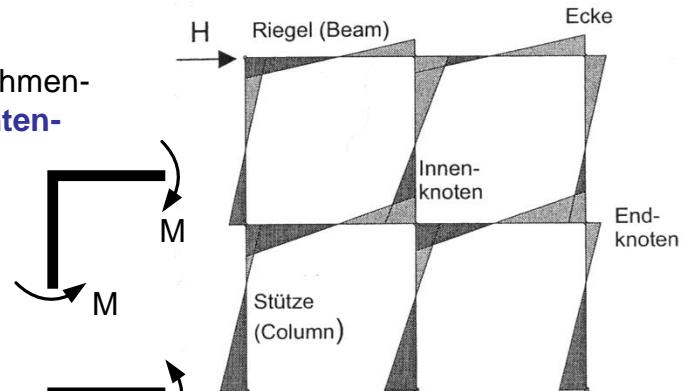
Schrägstäbe aus der Biegebewehrung aufgebogen,
z.B. schlaufenartige Endverankerung



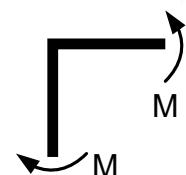
g) Rahmenecken

Grundsätzlich zu unterscheiden sind Rahmen-ecken nach der **Richtung ihrer Momentenbeanspruchung**, und zwar

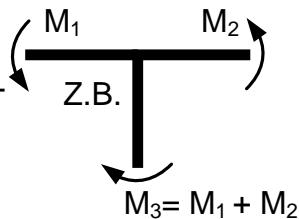
- Rahmenecken für **negative** Momente ("Schließen der Ecke", Zug außen, z.B. klassischer Zweifeldrahmen)



- Rahmenecken für **positive** Momente ("Öffnen der Ecke", Zug innen, z.B. Versatz einer Platte oder Treppe mit Podesten)

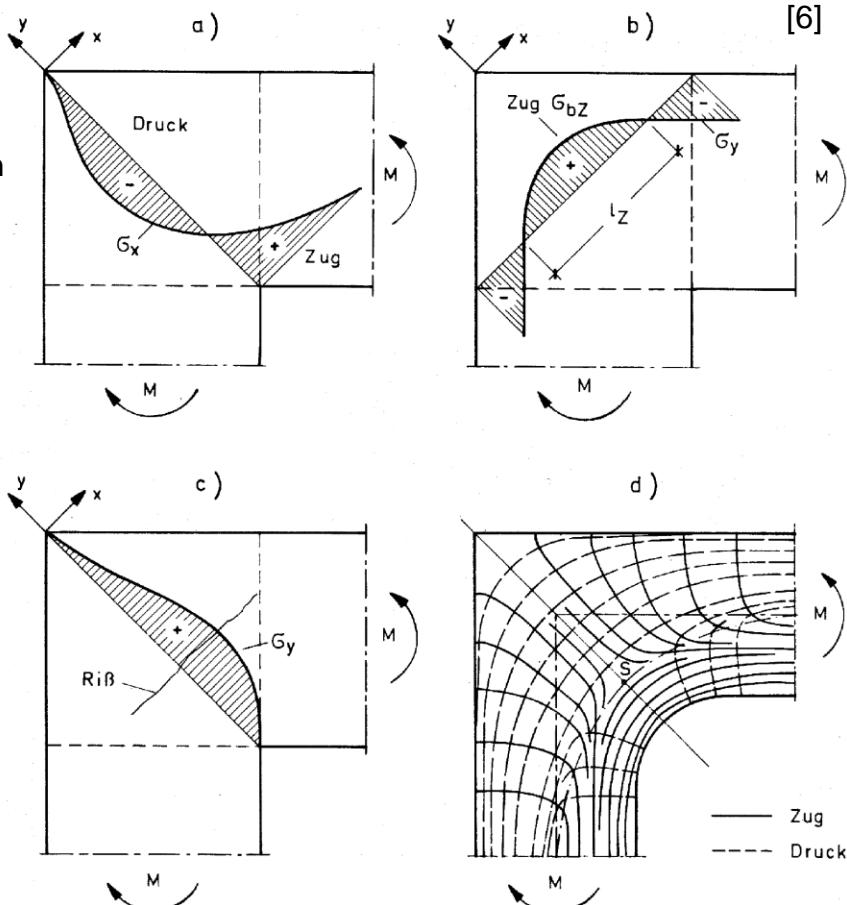


- In **Rahmenknoten** können grund-sätzlich alle Kombinationen auftreten (positive, negative Momente)



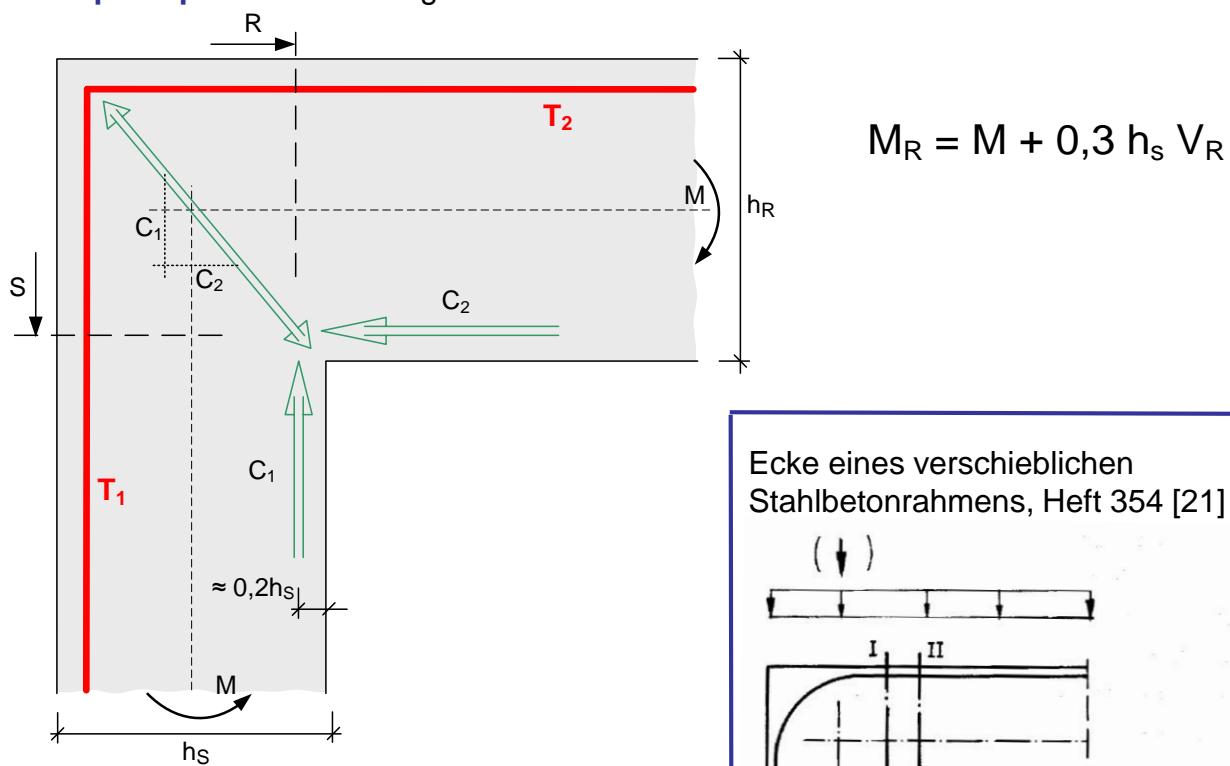
Prinzipielle Verteilung von Spannungen in Rahmenecken

(dargestellt positives Moment, bei negativem Moment mit umgekehrten Vorzeichen)
Ansatz mit linear-elastischem Materialverhalten



1) Rahmenecken für negative Momente (Zug außen)

Grundprinzip beim Lastabtrag



Bemessungsschnitt R „Riegel“

$\approx 0,2 \cdot h_s$ nach Innen verschoben bei üblicher Belastung (i.d.R. mit geringer Normalkraft)

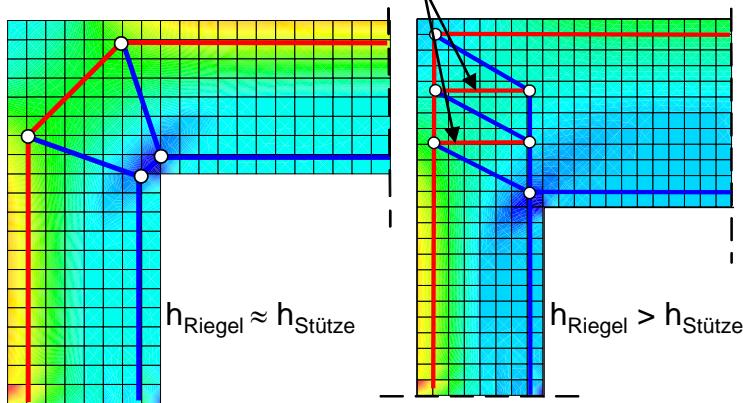
Bemessungsschnitt S „Stütze“

in Höhe der unteren Riegelbewehrung
(vereinfachende Empfehlung nach DAfStb.

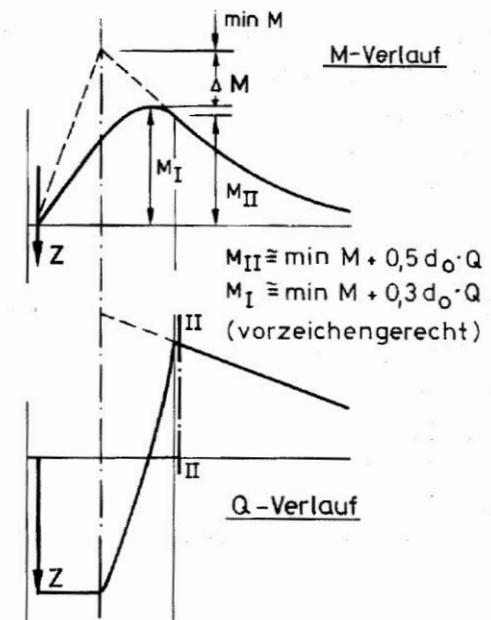
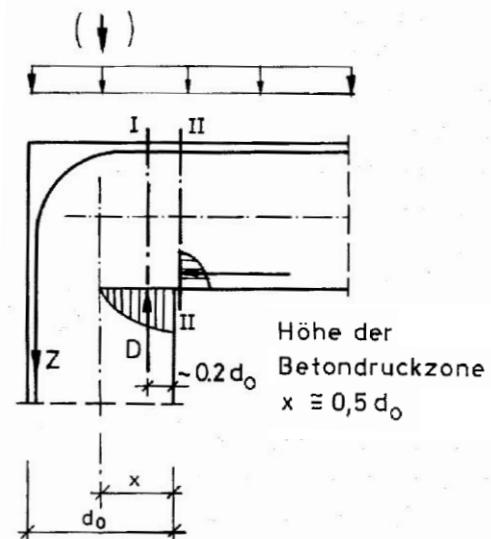
Heft 354 [21])

(i.d.R. mit deutlicher, drückender Normalkraft)

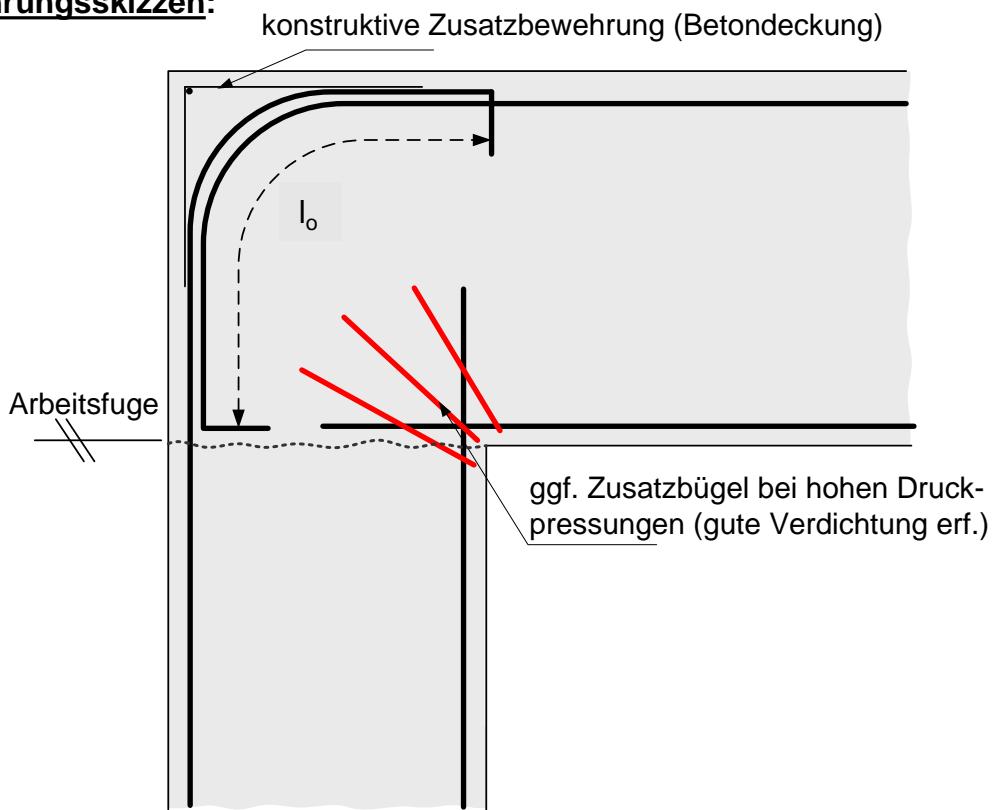
- [22] [10] horizontale Steckbügel,
Verankerung im Riegel,
Querschnitt \geq Stützenbügel



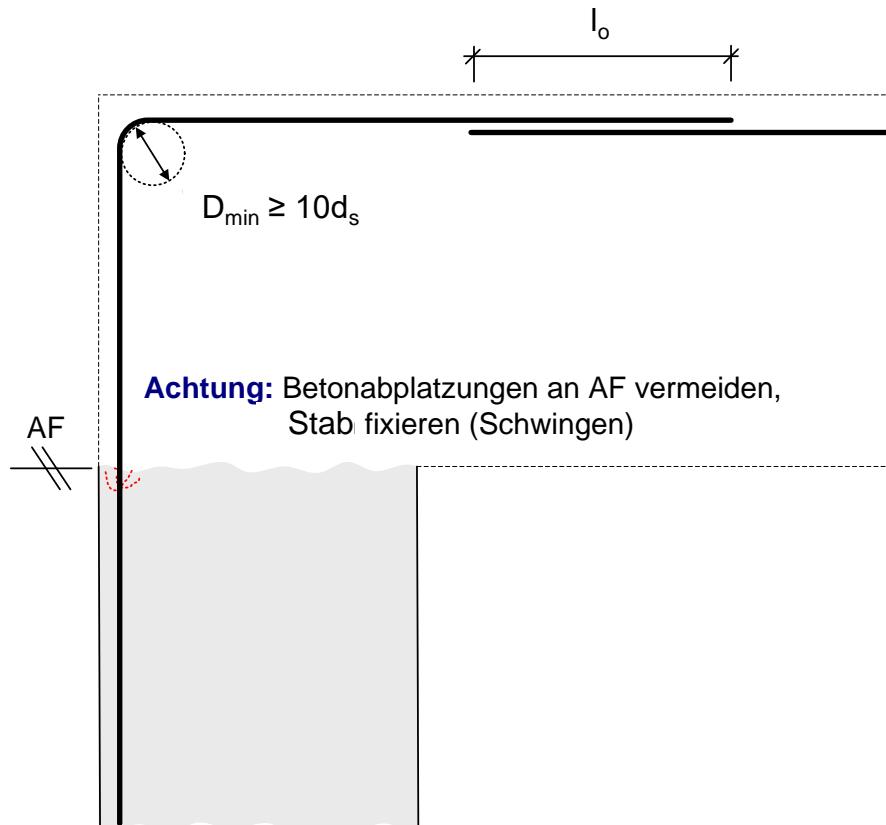
Ecke eines verschiebblichen Stahlbetonrahmens, Heft 354 [21]



Bewehrungsskizzen:



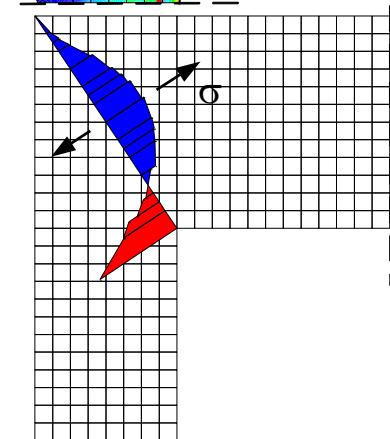
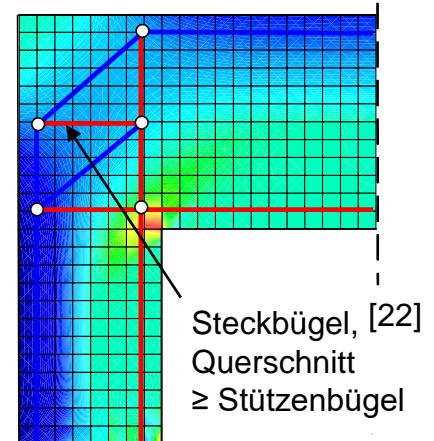
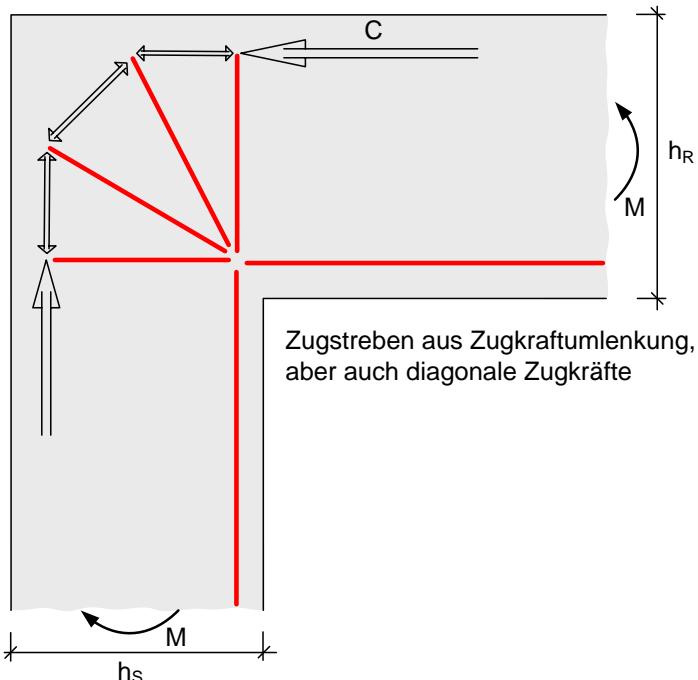
Alternative Form (häufig angewandt) mit Stoß außerhalb des Knotens



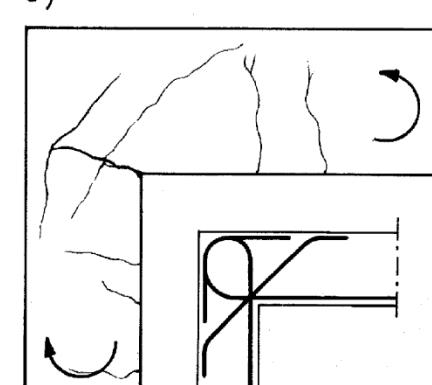
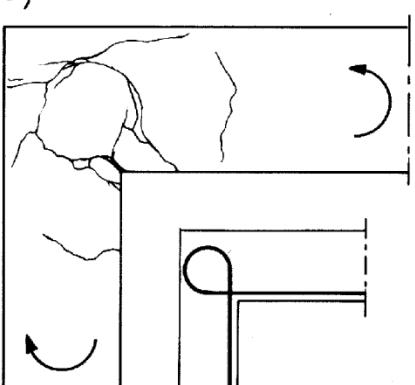
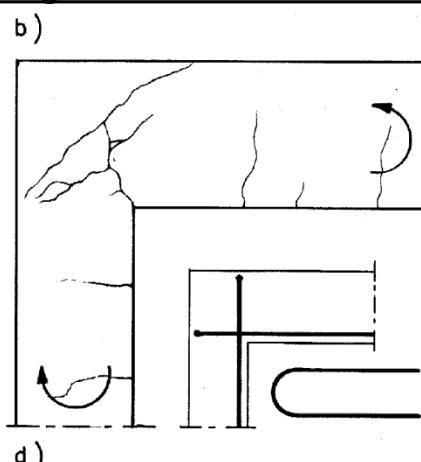
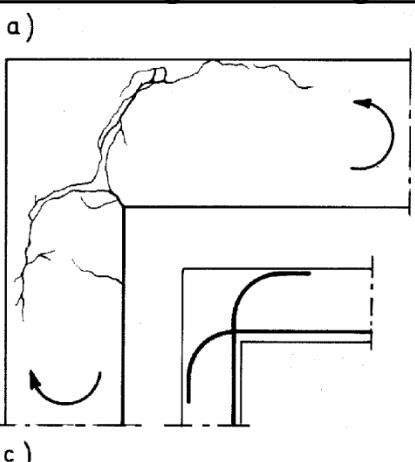
2) Rahmenecken für positive Momente (Zug innen)

Grundprinzip zum Lastabtrag

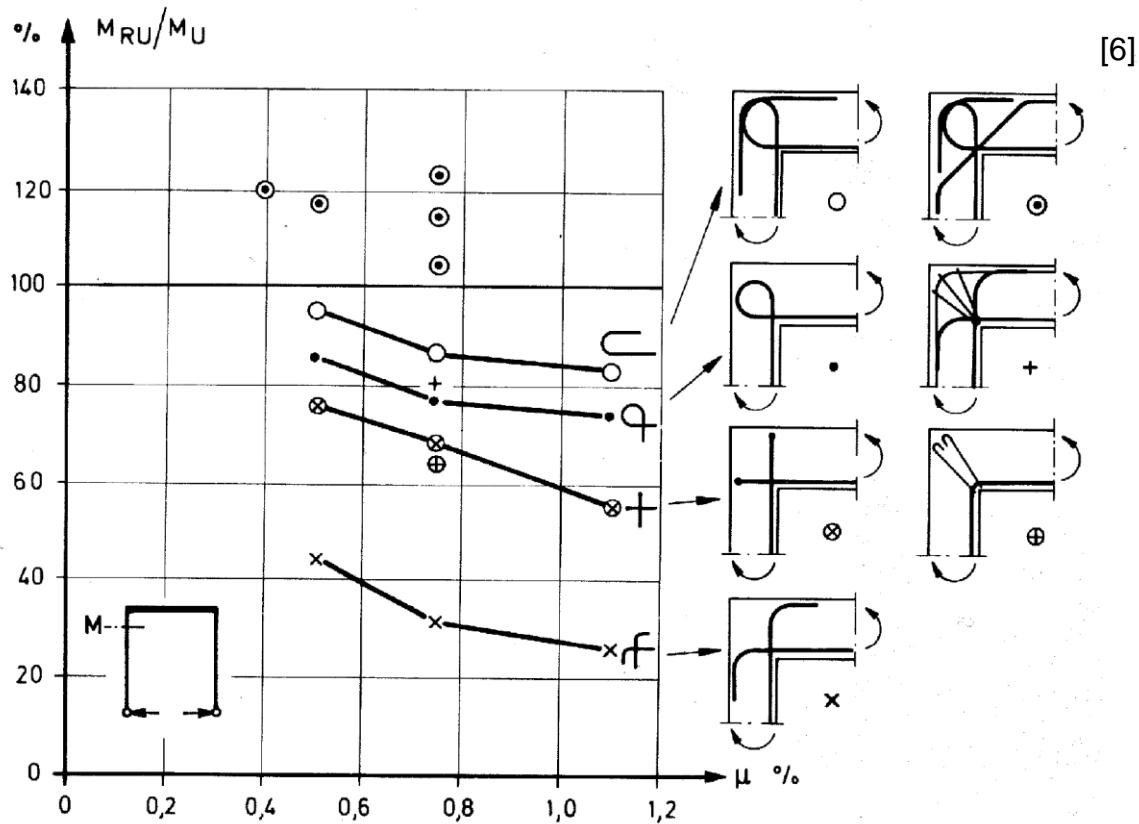
Ein mögliches Fachwerksystem:



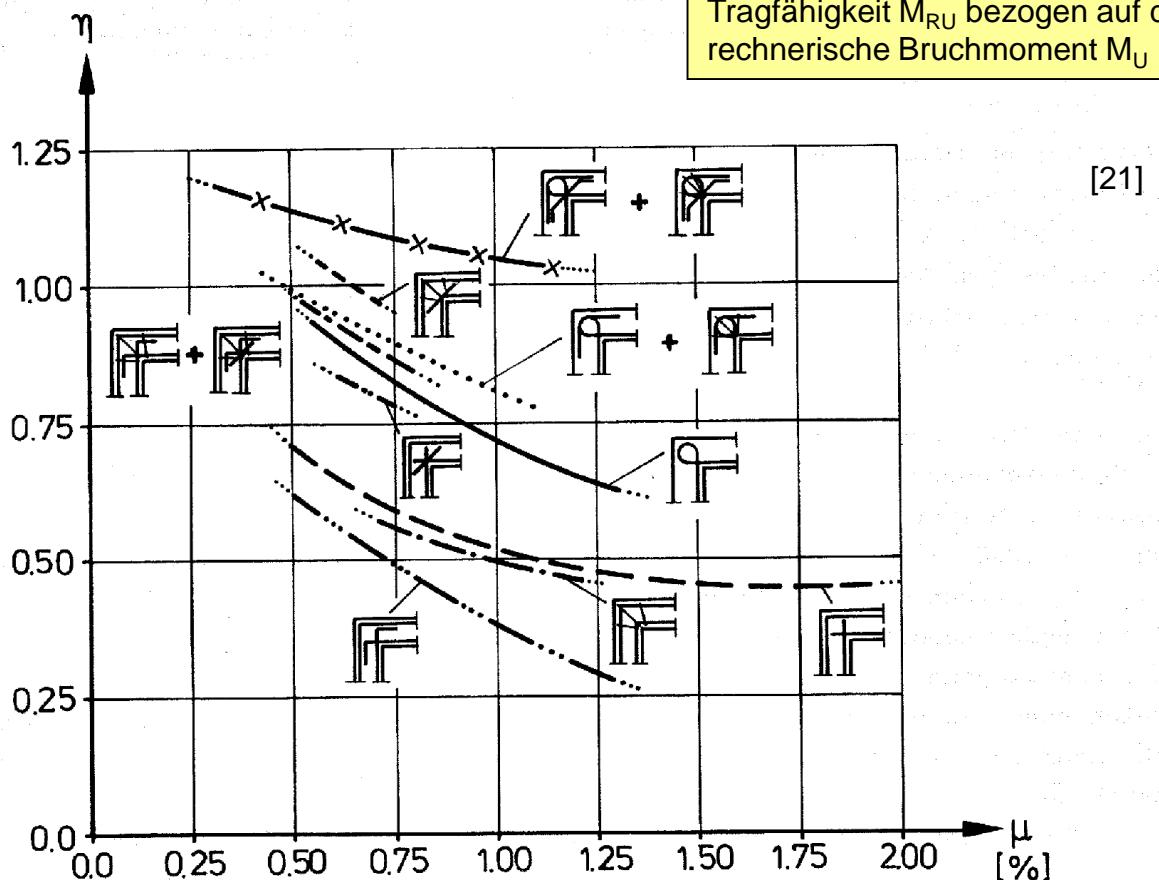
Mögliche Bewehrungsausbildungen und zug. Rissbilder aus Versuchen [6]



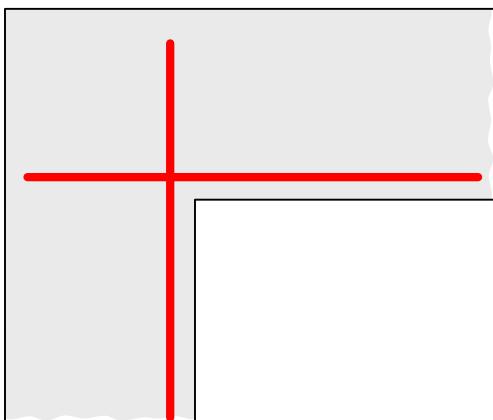
Wirkungsgrad (η) möglicher Bewehrungsausbildungen



Tragfähigkeit M_{RU} bezogen auf das rechnerische Bruchmoment M_U



1)

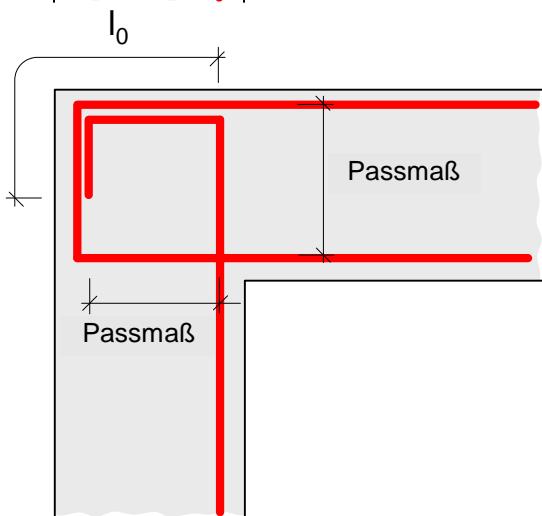


nur bei Wand/Decken-Knoten,
nicht bei Stütze/Riegel-Anschlüssen

$$\mu \leq 0,4 \%$$

$$\text{vorh. } A_S \geq \approx 1,8 \text{ erf. } A_S$$

2)



Konstruktiv weniger gut (Passlängen von Stäben im Übergreifungsbereich, Diagonalzug nur indirekt aufgenommen)

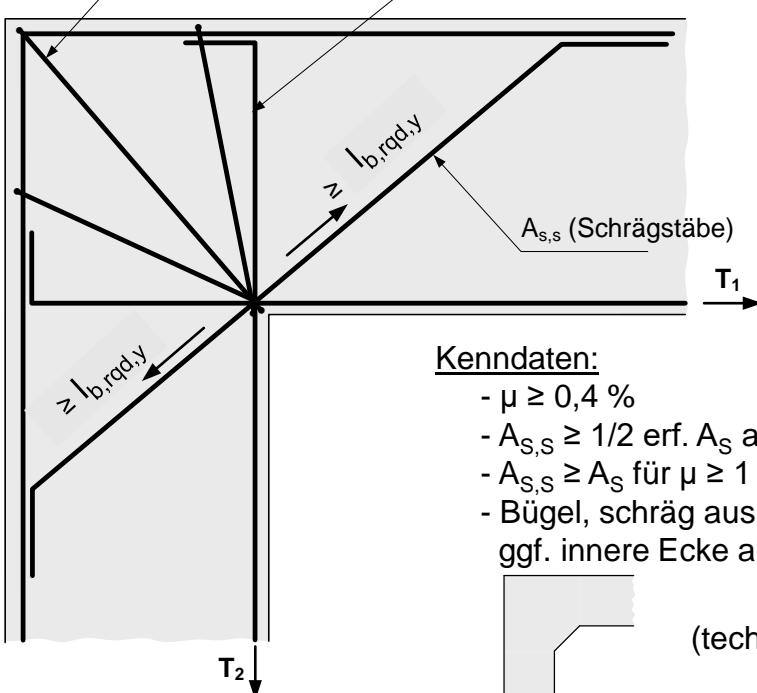
$$\mu \leq 0,4 \%$$

$$\text{vorh. } A_S \geq \approx 1,4 \text{ erf. } A_S$$

3) (normale Ausbildung)

Schrägbügel in der Druckzone schließen
Bemessungen für ca. $T_D = \sqrt{T_1^2 + T_2^2}$

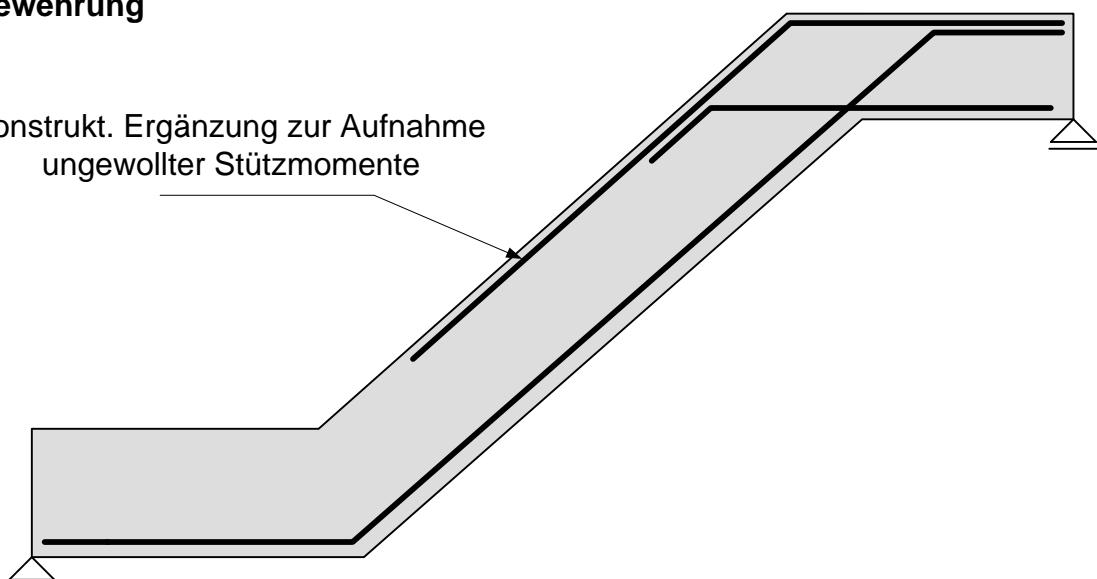
endverankerte Zugbewehrung
aus Stütze (bzw. Riegel)



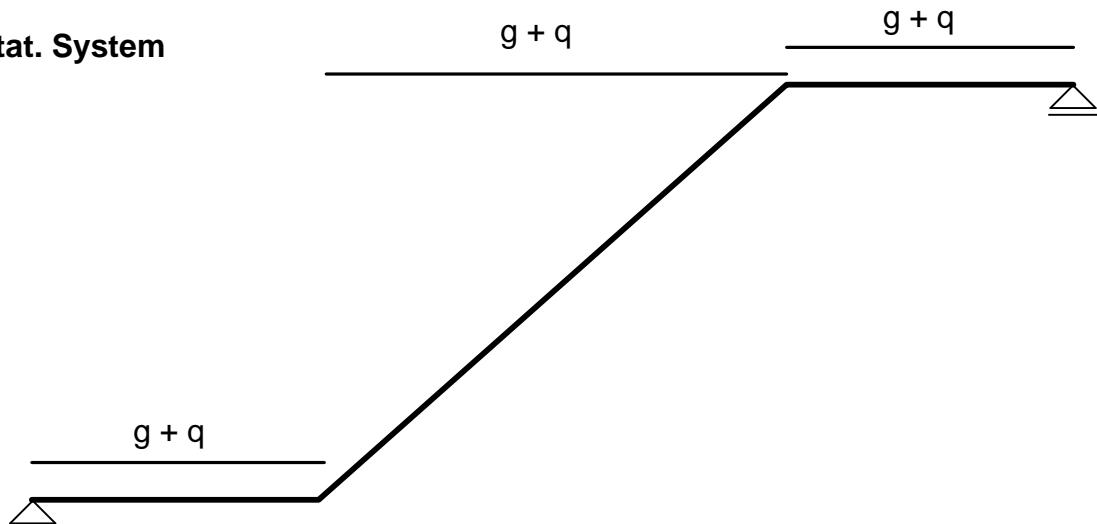
Anwendung z.B. bei **Treppenabsätzen** (nicht rechtwinkeligen Ecken)

Bewehrung

konstrukt. Ergänzung zur Aufnahme
ungewollter Stützmomente

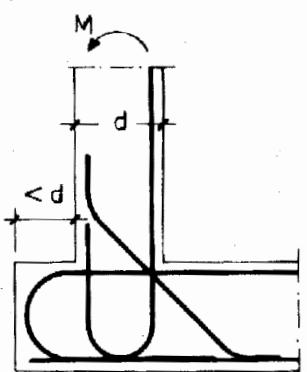


Stat. System

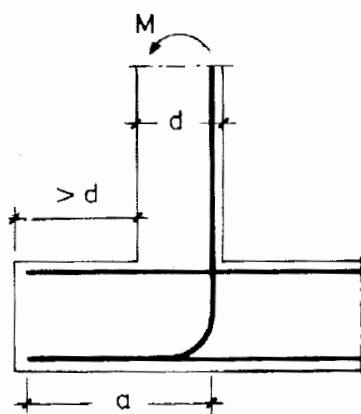


Bewehrung von Winkelstützwänden [6]

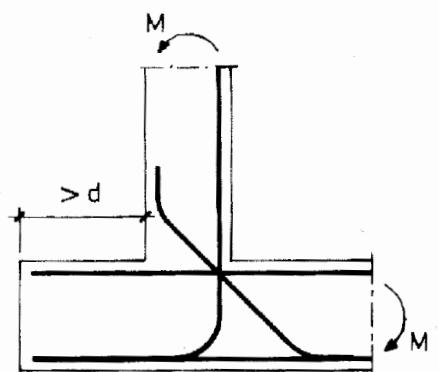
a)



b)



c)

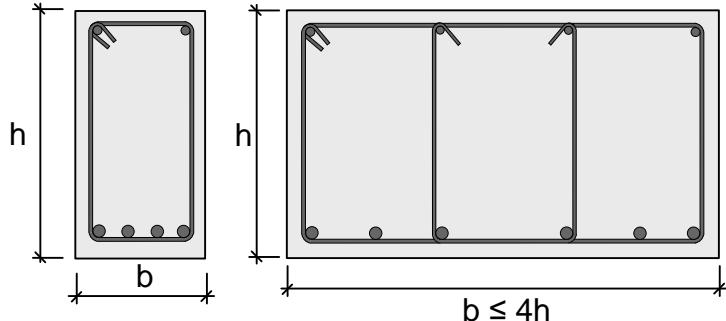


Konstruktionsregeln für Bauteile

(a) Balken

Abgrenzung von **Balken** gegenüber **Platten** erfolgt über das Verhältnis von Breite zu Höhe. Für Balken gilt: $b/h < 4$

(teilweise auch $b/h < 5 \rightarrow$ Querkraft)



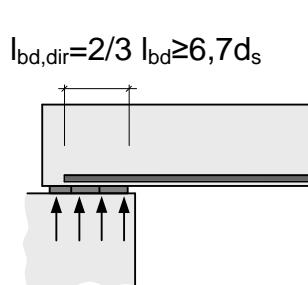
Längsbewehrung

Grundlage:

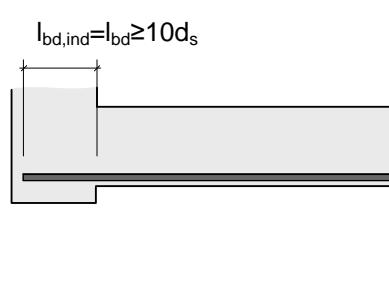
- **Biegebemessung**
- **Mindestbewehrung** zur Aufnahme der Risschnittgrößen (\rightarrow duktiles Bauteilverhalten)
- aus **konstruktiven** Gründen erforderliche Bewehrung (z.B. Festhaltung von Bügeln)

Die aus der **Biegebemessung** für die maßgebenden (kritischen) Querschnitte bestimmte Bewehrung kann über die **Zugkraftdeckungslinie** in Längsrichtung gestaffelt werden. (\rightarrow siehe Kapitel Zugkraftdeckung) Dabei ist zu beachten:

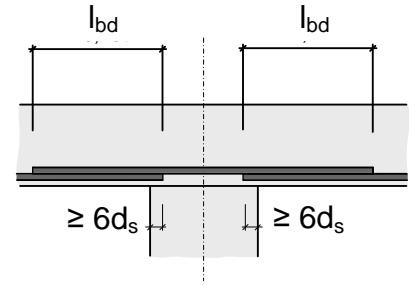
- am **Endauflager** Randzugkraft $F_{sd,R}$ ausreichend verankern
- mind. 25% der Feldbewehrung bis zum Endauflager führen und dort verankern
- Verankerung beginnt an der Innenkante des Auflagers
- erf. Verankerungslänge $l_{bd,dir}$ bzw. $l_{bd,ind}$
- bei **Zwischenauflagern** 25% der Feldbewehrung mind. $6d_s$ bis hinter Auflagerrand führen bzw.
- für ungeplante Einwirkungen Bewehrung (Setzungen, Explosion o.ä.) durchführen oder stoßen
- außerhalb von Auflagern Verankerungslänge mind. l_{bd}



direktes Auflager



indirektes Auflager



Zwischenauflager

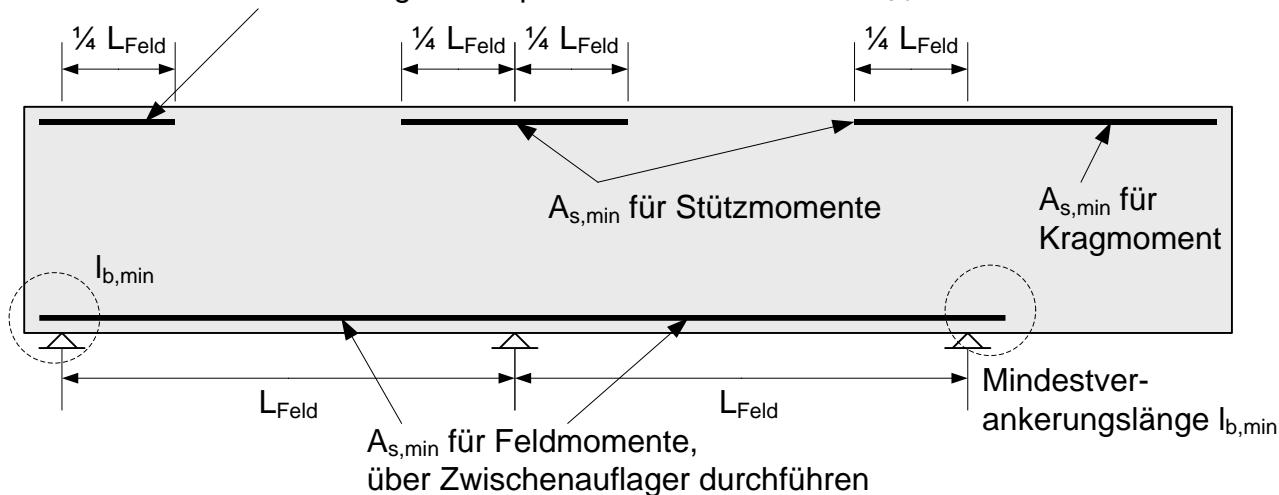
Die **Mindestbewehrung** (Robustheitsbewehrung) ist **gleichmäßig über die Breite** sowie **anteilmäßig über die Höhe** der Zugzone zu verteilen.

Generell empfiehlt es sich jedoch, die Mindestbewehrung im Bereich des Zugrandes anzutragen (\rightarrow innerer Hebelarm z) und bei **hohen Stegen** (zur Vermeidung von möglichen Sammelrissen) eine zusätzliche, über die Steghöhe verteilte, rissbreiten begrenzende Bewehrung einzulegen.

Stöße der Mindestbewehrung sind für volle Zugkraft auszulegen

$$A_{s,min} = M_{cr} / (z_{II} \cdot f_{yk}) \quad \text{mit: } M_{cr} = f_{ctm} \cdot I_I / Z_{I,c1}$$

Aufnahme unberücksichtigter Einspannmomente $\rightarrow 25\% M_{Feld}$



Höchstbewehrung:

$$A_{s,max} = 0,08 \cdot A_c$$

(gilt auch im Bereich von Übergreifungsstößen)

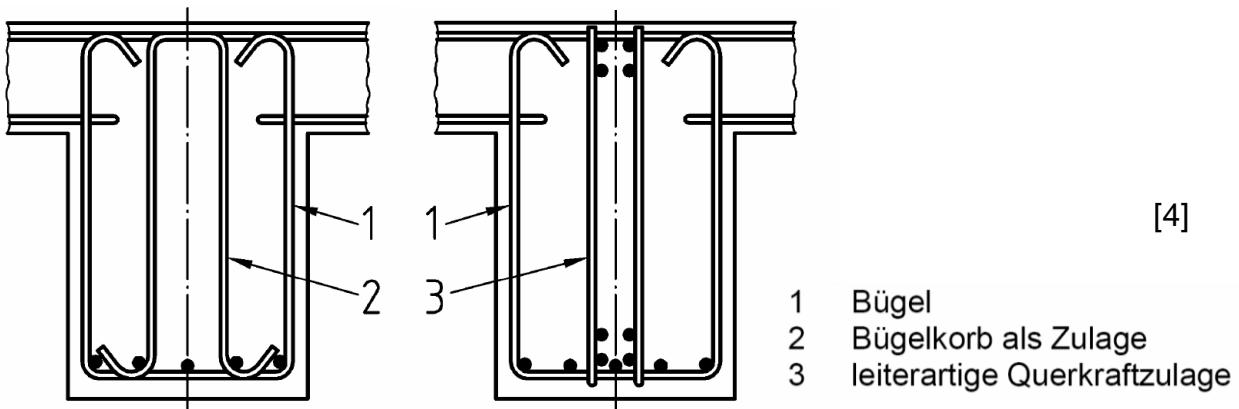
Querkraftbewehrung

Die Querkraftbewehrung sollte mit der Schwerachse des Bauteils einen Winkel von 45° bis 90° bilden. Sie darf aus einer **Kombination folgender Bewehrungen** bestehen:

- **Bügel**, die die Längszugbewehrung und die Druckzone umfassen
- **Schrägstäbe**
- **Querkraftzulagen** in Form von Körben, Leitern usw., die ohne Umschließung der Längsbewehrung verlegt sind

Mindestens **50%** der aufzunehmenden Querkraft müssen durch **Bügel** abgedeckt sein.

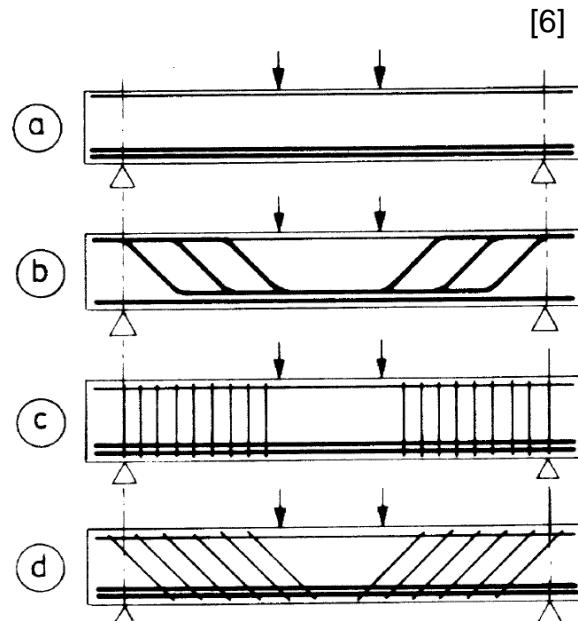
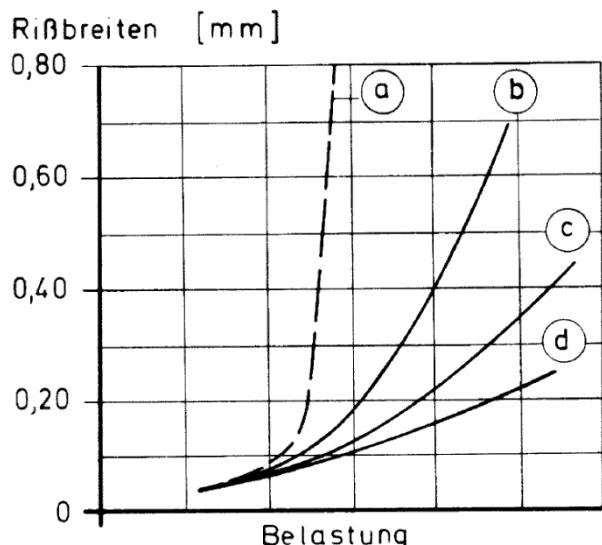
Die Querkraftbewehrung ist längs der Bauteilachse so zu verteilen, dass an jeder Stelle die Bemessungsquerkraft abgedeckt ist (→ **Schubkraftdeckung**)



Wirkung der Querkraftbewehrung:

Durchschnittliche Breite der Schubrisse (grobe Wertung bei üblichen Abmessungen):

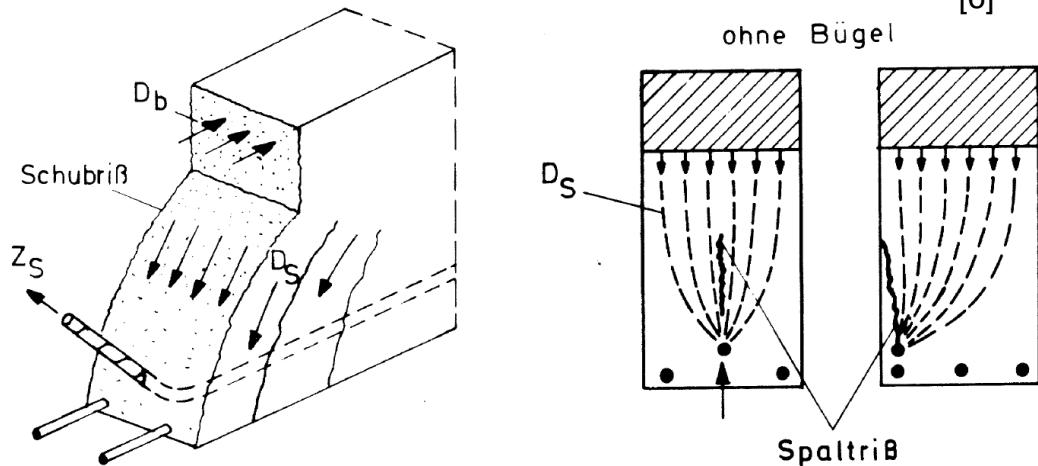
- ohne Schubbewehrung
- aufgebogene Stäbe
- enge vertikale Bügel
- enge geneigte Bügel



Aufgebogene Längsstäbe (Schrägstäbe):

- Neigung α günstig
- keine Aufnahme von Querzugkräften \rightarrow Spaltrisse
- nur in Kombination mit Bügeln

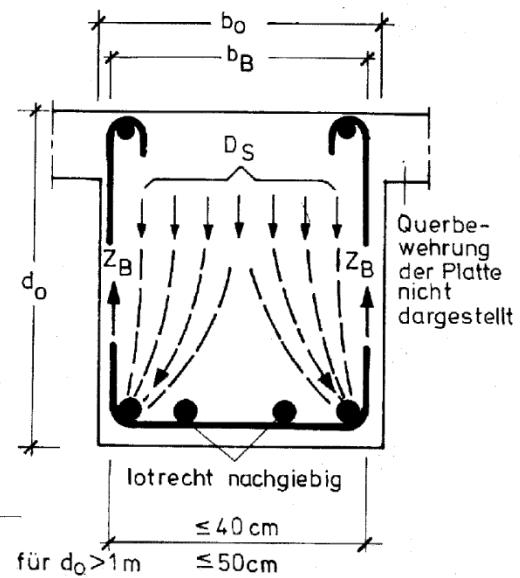
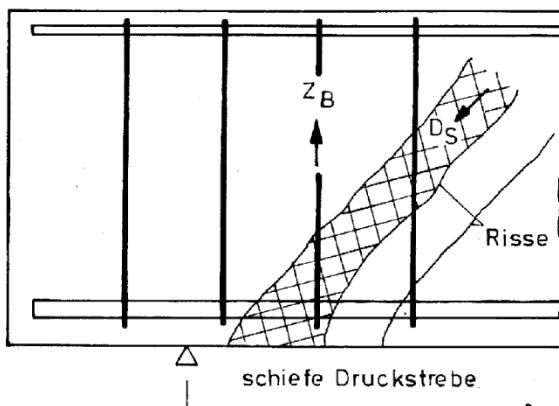
[6]



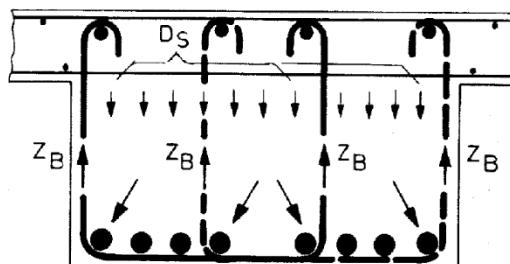
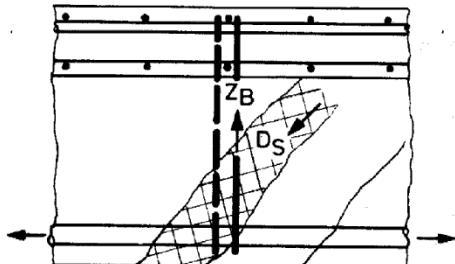
Bügelbewehrung:

- Druckstreben stützen sich vorwiegend auf die in den Bügelecken liegenden Längsstäbe ab
- bei breiten Balken sind mehrschnittige Bügel anzuordnen

a) zweischnittige Bügel

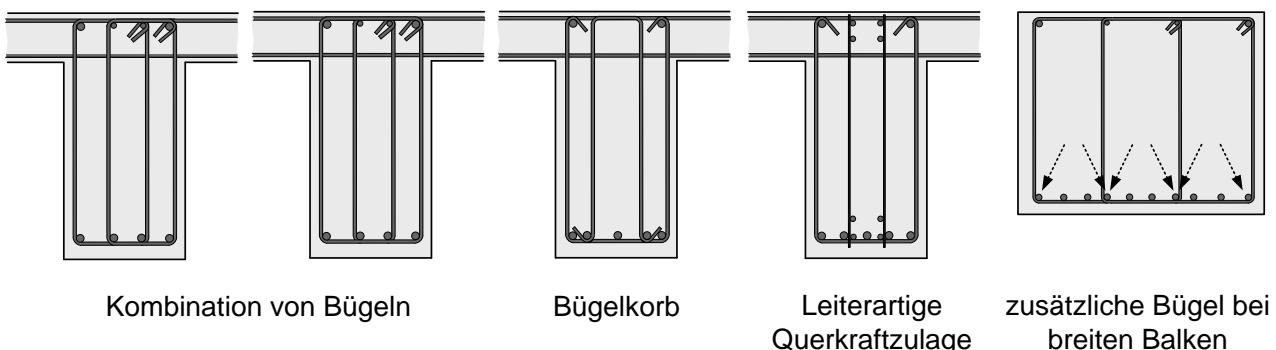


b) vierschnittige Bügel



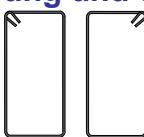
[6]

Beispiele für die Kombination von Bügeln bzw. Bügeln und Querkraftzulagen;
Bügel bei breiten Balken

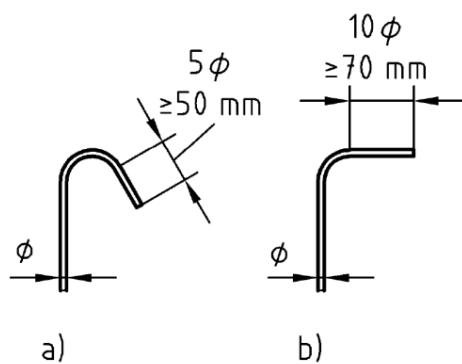
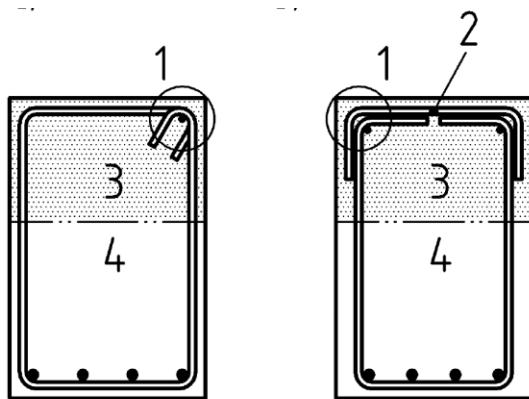


Schließen von Bügeln bei Balken

- Bügel müssen die **Zugbewehrung und die Druckzone umfassen**
- Bügelschlösser versetzen
- Schließen in der **Druckzone**

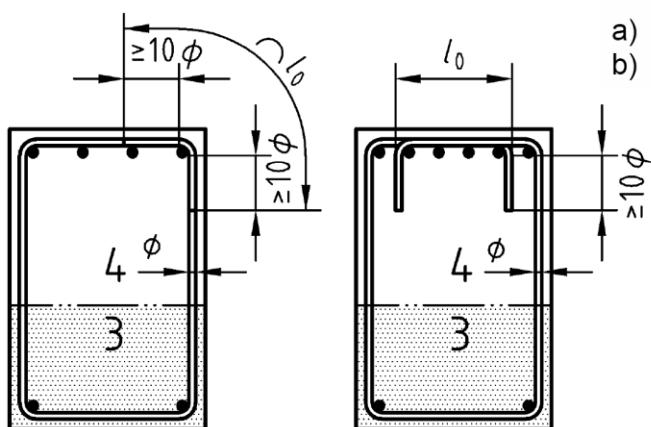


nach Bild NA 8.5 [2]



- 1 Verankerungselemente nach a) und b)
 - 2 Kappenbügel
 - 3 Betondruckzone
 - 4 Betonzugzone
 - 5 obere Querbewehrung
 - 6 untere Bewehrung der anschließenden Platte
- a)
b)
- a) Haken
b) Winkelhaken

- Schließen in der **Zugzone**



Mindestschubbewehrung für balkenartige Tragwerke:

$$A_{sw} / s \geq \min \rho_w \cdot (b_w \cdot \sin \alpha)$$

A_{sw} / s Querschnitt der Schubbewehrung je Längeneinheit

b_w maßgebende Stegbreite

α Neigungswinkel der Schubbewehrung

$\min \rho_w$ Mindestbewehrungsgrad

= 1,0 ρ (allgemein)

= 1,6 ρ (gegliederte Querschnitte mit vorgespanntem Zuggurt)

[4]

Zeile	Spalte	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
		Charakteristische Betondruckfestigkeit f_{ck} in N/mm ²														
		12	16	20	25	30	35	40	45	50	55	60	70	80	90	100
1	ρ in % ^a	0,51	0,61	0,70	0,83	0,93	1,02	1,12	1,21	1,31	1,34	1,41	1,47	1,54	1,60	1,66

^a Diese Werte ergeben sich aus $\rho = 0,16 f_{ctm} / f_{yk}$.

Bei Leichtbeton dürfen die Werte ρ mit η_1 nach Tabelle 10 multipliziert werden, wobei kein kleinerer Wert als $\eta_1 = 0,85$ in Ansatz gebracht werden darf.

Herleitung der Mindestquerkraftbewehrung (nach [20])

$$\text{Bedingung: } V_{Rd,sy} = V_{Rm,ct} \quad (\text{m} \rightarrow \text{Mittelwert})$$

$$\text{mit: } V_{Rm,ct} = [0,197 \cdot \kappa \cdot \eta_1 \cdot (100\rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} - 0,12\sigma_{cd}] \cdot b_w \cdot d$$

$$(V_{Rd,ct} = 0,15/\gamma_c \dots)$$

$$\kappa = 2,0 \quad (d \leq 200\text{mm})$$

$$\rho_l = 1,4\%$$

$$\sigma_{cd} = 0$$

} repräsentative Werte
(Annahmen)

$$\rightarrow V_{Rm,ct} = 0,44 \cdot f_{ck}^{1/3} \cdot b_w \cdot d \approx 0,44 \cdot f_{ctm} \cdot b_w \cdot d$$

$$V_{Rd,sy} = A_{sw}/s_w \cdot f_{yd} \cdot z \cdot \cot \theta$$

$$= \rho_w \cdot b_w \cdot f_{yd} \cdot z \cdot \cot \theta$$

$$\text{mit: } \cot \theta = 3 \quad (\text{Annahme}) \text{ und } f_{yd} \rightarrow f_{yk}$$

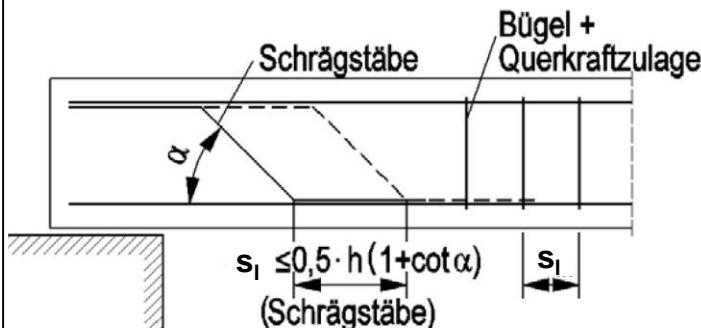
$$V_{Rd,sy} = V_{Rm,ct}$$

$$\rho_w \cdot b_w \cdot f_{yk} \cdot z \cdot 3 = 0,44 \cdot f_{ctm} \cdot b_w \cdot d \quad (\text{mit } z \approx 0,9d)$$

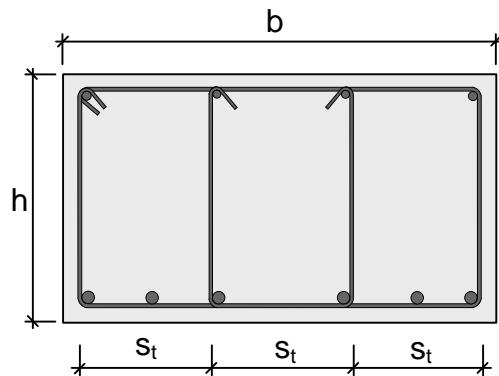
$$\rightarrow \rho_w = 0,16 \cdot f_{ctm} / f_{yk}$$

Höchstabstände der Schubbewehrung → Begrenzung der Schubrissbreite

Längsrichtung:



Querrichtung:



Maximaler Längsabstand für Bügel $s_{l,max}$ nach Tabelle NA.9.1 [2]

	1	2	3
	Querkrafausnutzung a)	Beton der Festigkeitsklasse	
		≤ C50/60	> C50/60
1	$V_{Ed} \leq 0,3V_{Rd,max}$	$0,7h$ 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.

Maximaler Querabstand für Bügel $s_{t,max}$ nach Tabelle NA.9.1 [2]

	1	2	3
	Querkrafausnutzung 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.

Umschnürung der Biegedruckzone

Bei **hochbewehrten Balken** – als Maß gilt die bezogene Druckzonenhöhe x/d – ist als Mindestbügelbewehrung zur Umschnürung der Biegedruckzone einzulegen:

bis C50/60 bei $x/d > 0,45$: $d_s \geq 10\text{mm}$; Abstand längs $s_l \leq 0,25h$ bzw. 20cm
Abstand quer $s_t \leq h$ bzw. 60cm

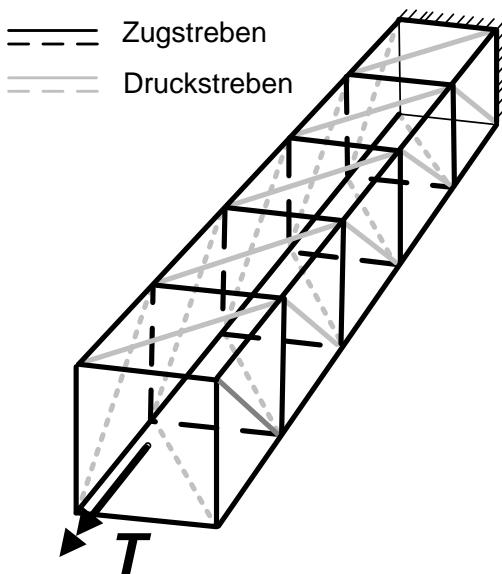
ab C55/67 bei $x/d > 0,35$: $d_s \geq 10\text{mm}$; Abstand längs $s_l \leq 0,25h$ bzw. 20cm
Abstand quer $s_t \leq h$ bzw. 40cm

→ Sicherstellung einer **ausreichenden Rotationsfähigkeit**

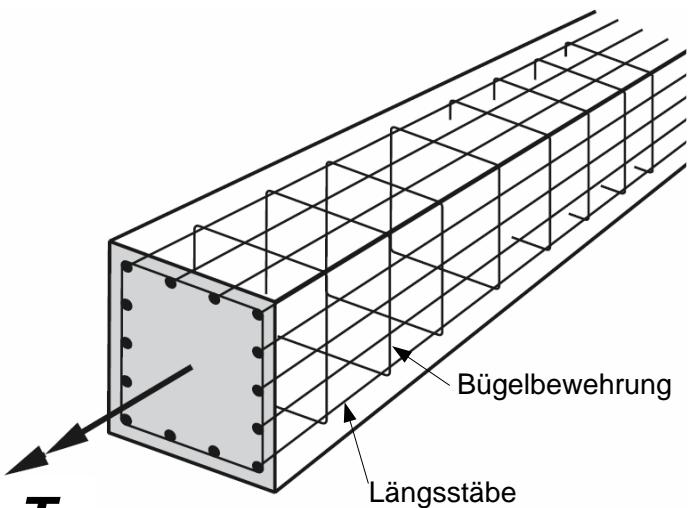
Torsionsbewehrung

- rechtwinkliges Bewehrungsnetz aus **Bügeln und Längsstäben**
- schließen der Torsionsbügel durch Übergreifung
- Mindestbügelbewehrung für Torsion → siehe Querkraft
- Bügelabstände $\leq u_k/8$ (u_k Umfang des Kernquerschnitts), zus. Abstände für Querkraftbügel beachten
- Abstände der Längsbewehrung $\leq 35\text{cm}$, mindestens ein Stab je Ecke

Fachwerkmodell



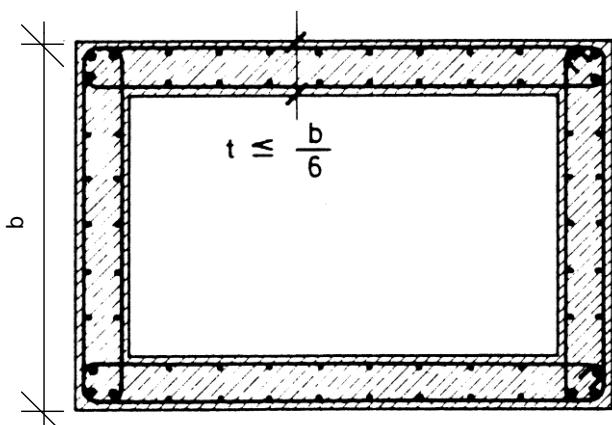
Torsionsbewehrung



Hohlkästen → Wanddicke t

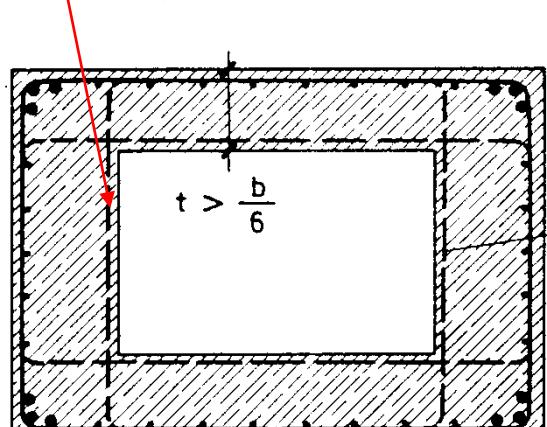
$t \leq b/6$:

Torsions-, Längs- und Querbewehrung auf Innen- und Außenseite verteilt



$t > b/6$:

Torsionsbewehrung nur außen liegend
→ innere Bügel für Querkraft



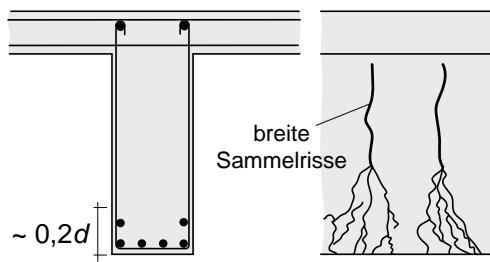
Besonderheiten bei Plattenbalken

Längsbewehrung bei hohen Stegen

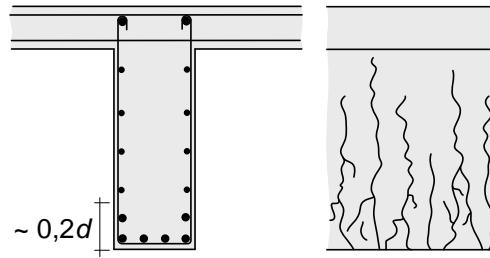
Bei hohen Stegen (Zugzone $h-x > 50\text{cm}$):

- breite Sammelrisse
- zus. Längsstäbe an den Stegseiten
- $\sim \varnothing 8$ bis 10mm
- Abstand ≈ 10 bis 20cm
- ggf. Bügelmatten
- Staffelung bei sehr hohen Stegen
- als Gurtbewehrung anrechenbar innerhalb $0,2d$

Rissbild ohne Steglängsbewehrung



Rissbild mit Steglängsbewehrung



Verteilung der Bewehrung in der Gurtplatte

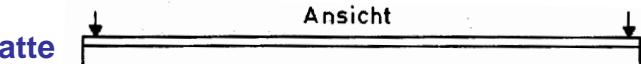
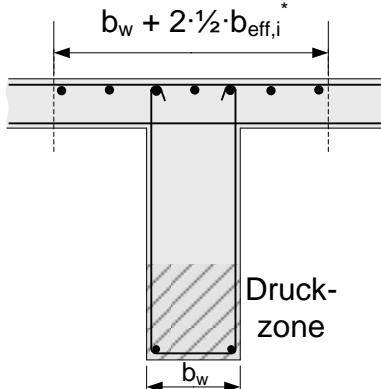
Konzentration der Zugbewehrung innerhalb der Stegbreite führt zu breiten Rissen in der Platte

→ **Auslagerung** in die Platte liefert günstigeres Rissbild

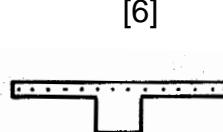
Die Zugbewehrung darf bei Plattenbalken- und Hohlkastenquerschnitten in der Platte höchstens auf einer Breite bis zur halben rechnerischen Gurtbreite von

$$b_{eff,i}^* = 0,2 b_i + 0,1 l_0 \leq 0,2 l_0$$

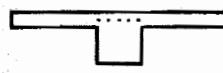
neben dem Steg angeordnet werden.



[6]



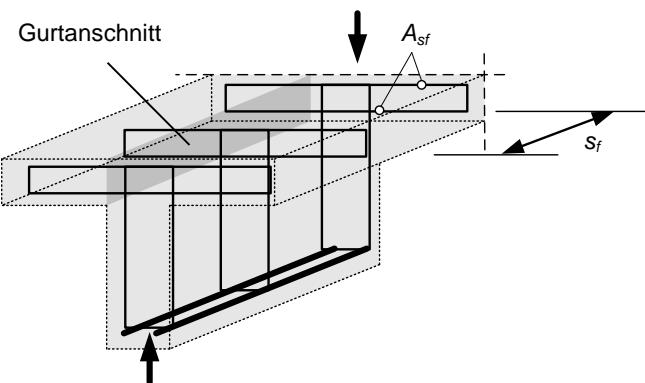
Draufsicht



Draufsicht

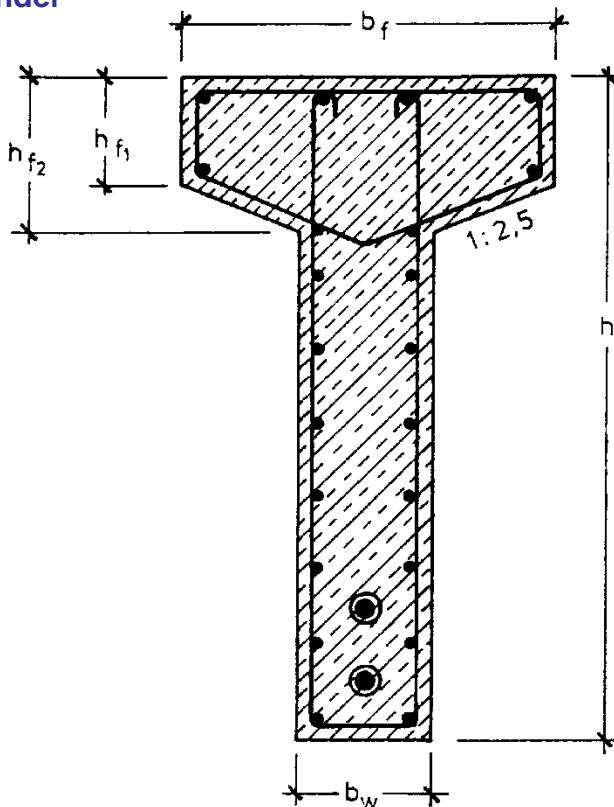
Gurtanschlussbewehrung

→ vgl. Grundlagen I

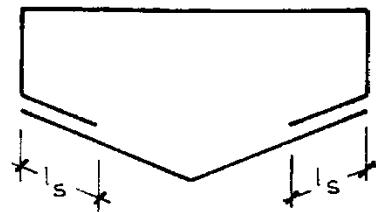


Ausführungsbeispiele

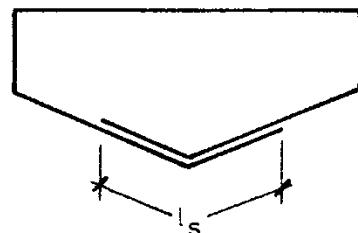
T-Binder



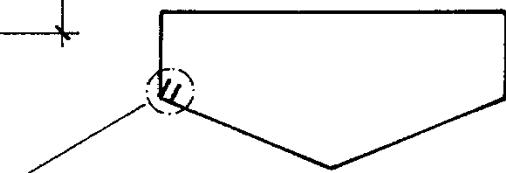
Achtung: $I_s = I_0$ &
 $I_{b,net} = I_{bd}$



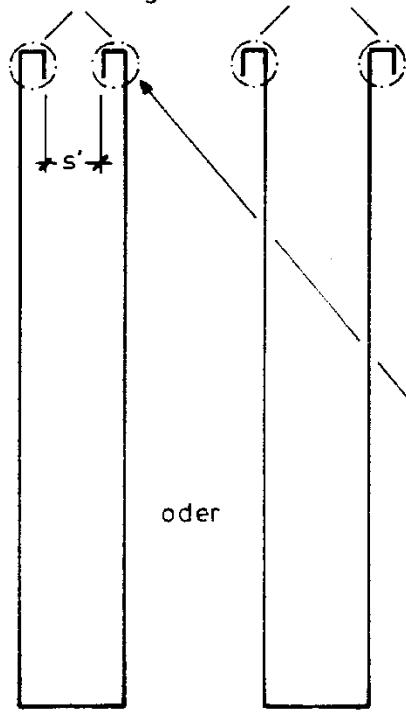
oder



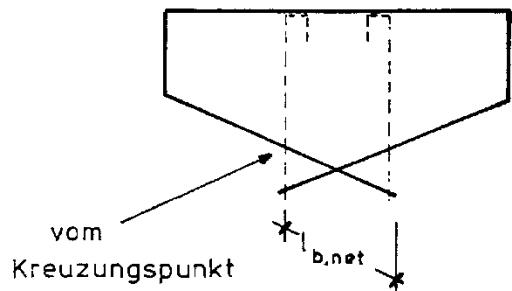
oder



Verankerungselemente von Bügeln

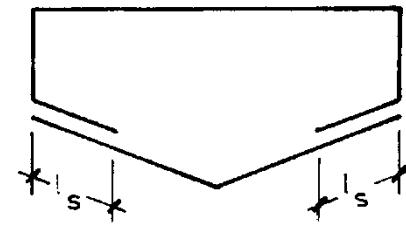
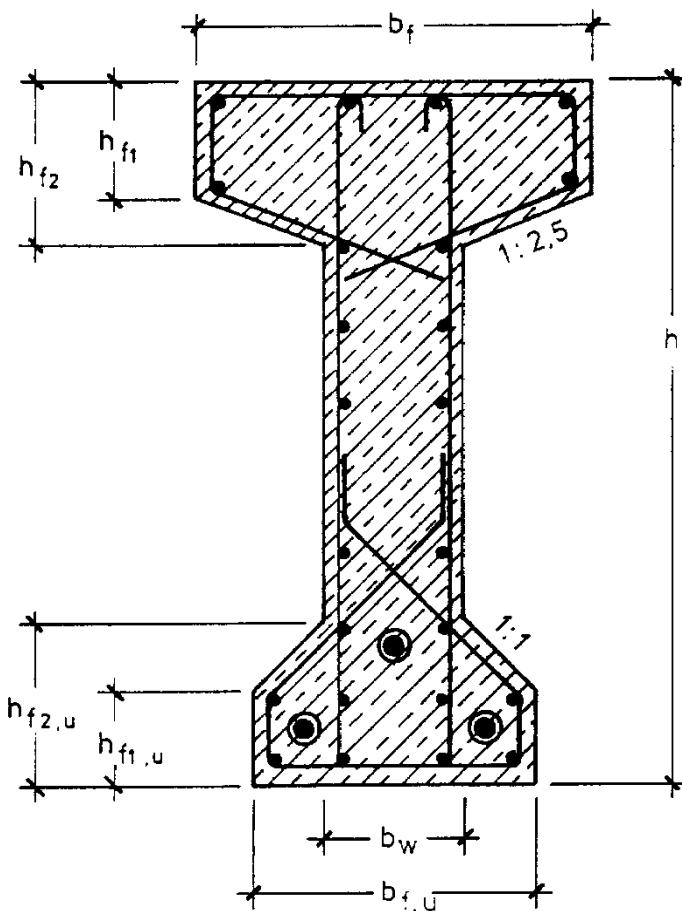


oder

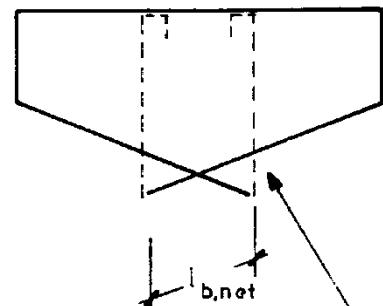
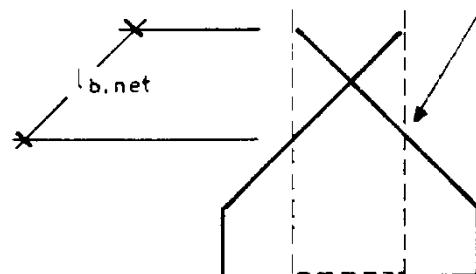
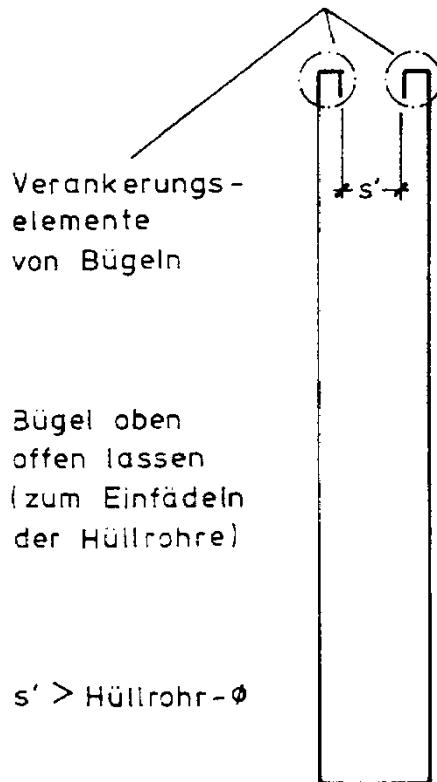
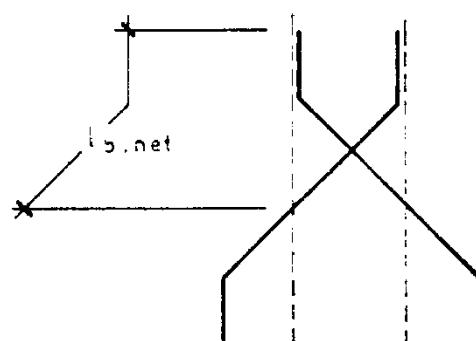


oder

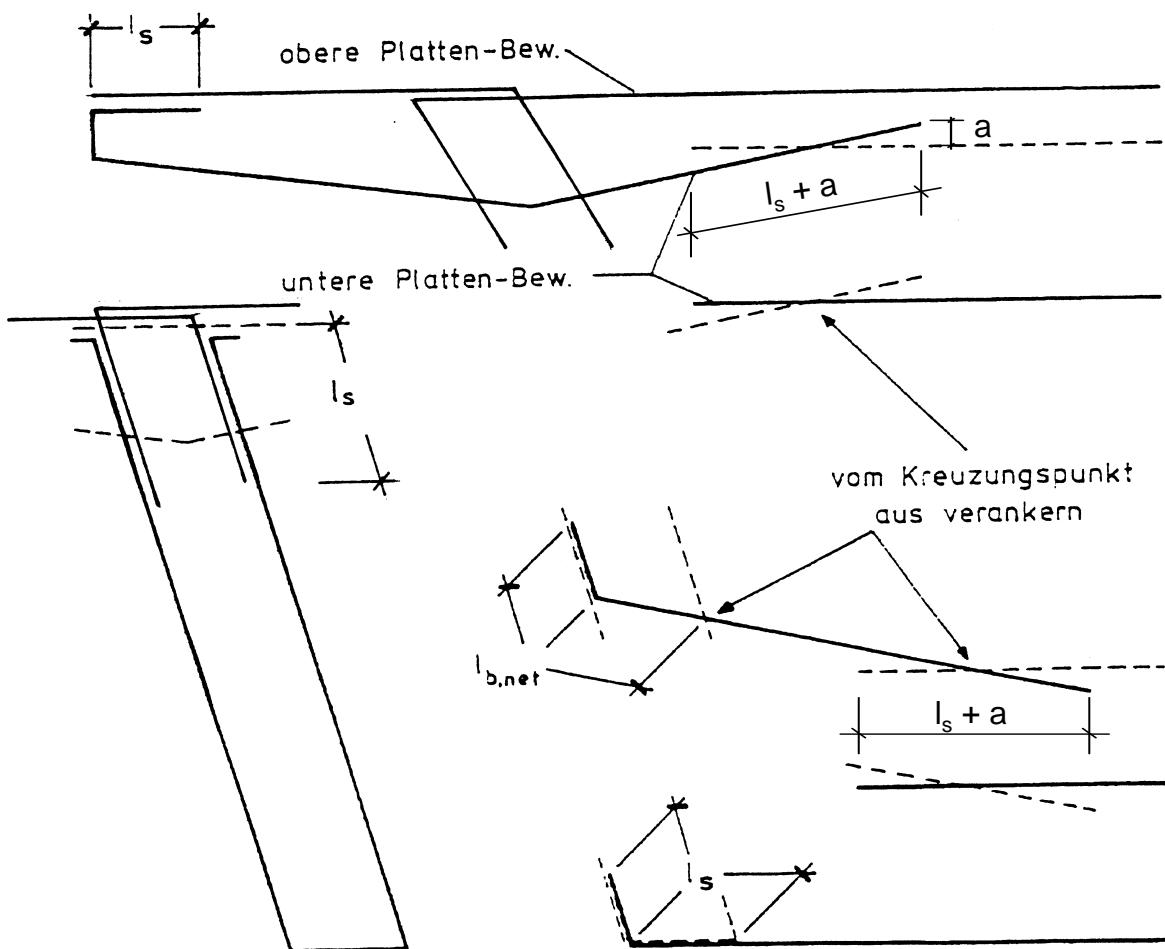
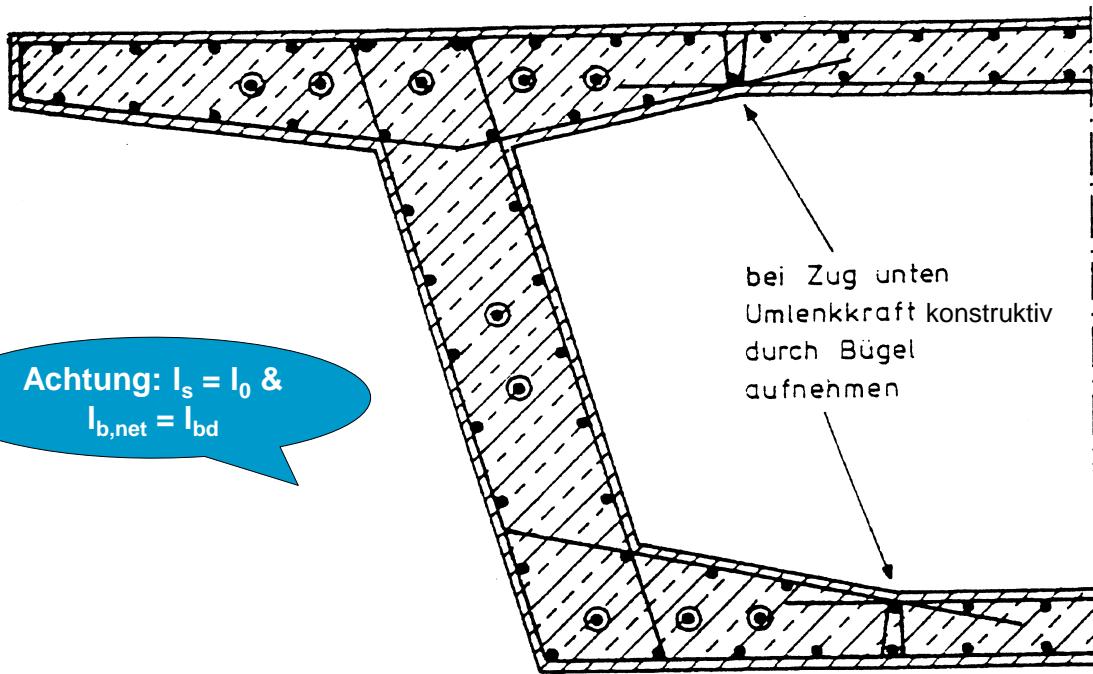
Haken möglichst nach innen biegen
Ausnahme:
falls Abstand s' der Hakenenden
geringer als Hüllrohr - Φ :
dann Haken nach außen biegen
(Abtriebskräfte werden durch oberen
Bügelschenkel aufgenommen)

I-Binder


oder


 vom Kreuzungspunkt
aus verankern

 oder (falls eine größere
Verankerungslänge erforderlich)


Hohlkasten

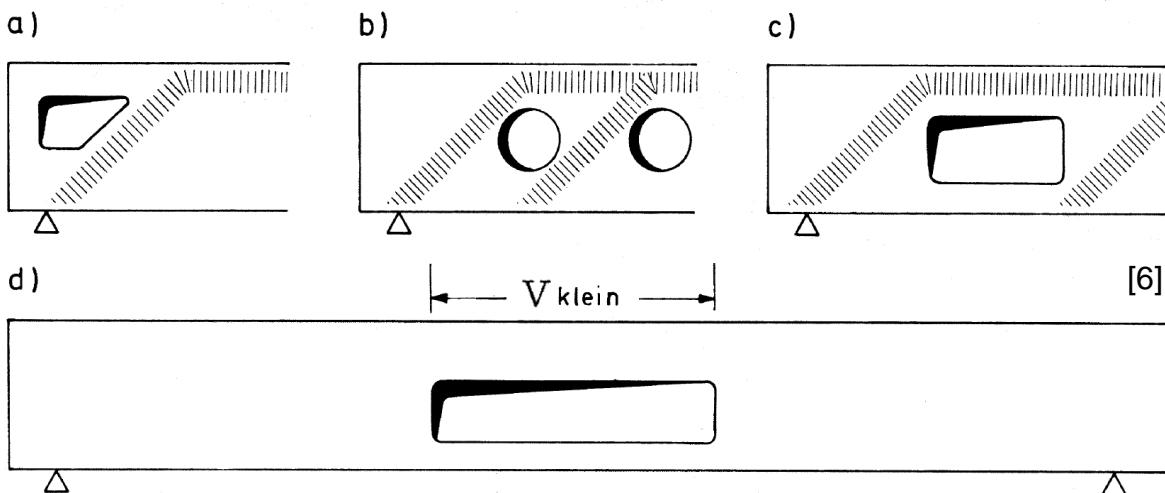


Balken mit Öffnungen im Steg

Anordnung von **Aussparungen in Balken** (Durchführung von Rohren und Leitungen) sollten so angeordnet werden, dass wichtige **Druckstrebene** oder genügend steife geschlossene Rahmen verbleiben.

Kleine Stegöffnungen

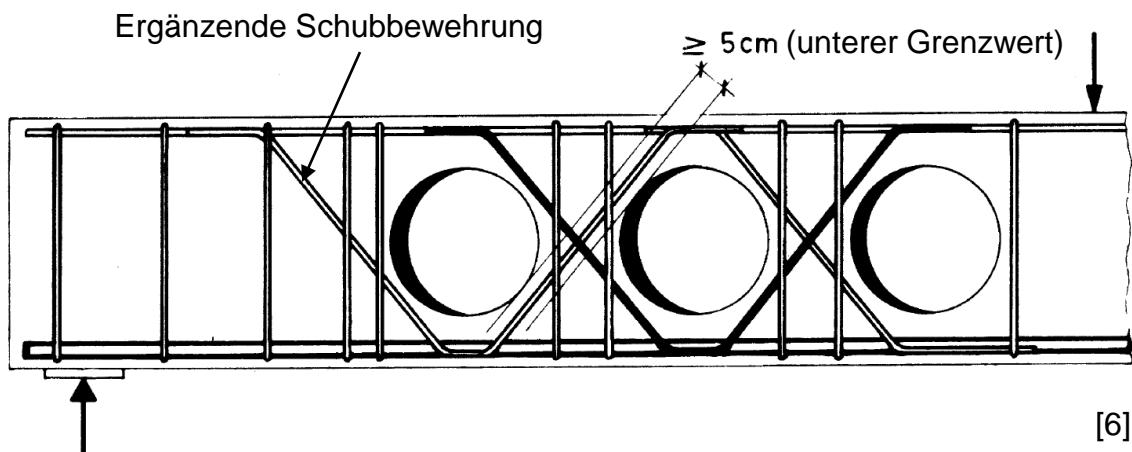
- kreisrunde Öffnungen sind günstiger als eckige
- Ecken sind möglichst auszurunden
- im Bereich kleiner Querkräfte sind auch längere Aussparungen möglich



Mehrere nebeneinander liegende Kreisöffnungen

Abstand zwischen den Öffnungen

→ Fachwerk mit sich kreuzenden Zug- und Druckstrebene



Große Stegöffnungen

- Aussparungen länger als $0,6d$ bei der Berechnung berücksichtigen
- Rahmenartiges Verhalten im Bereich langer Aussparungen (ähnlich Vierendeelträger)
- bei entsprechender Bewehrung keine Reduzierung der Tragfähigkeit
- jedoch Verminderung der Steifigkeit des Trägers
- Vermeidung von Öffnungen im Auflagerbereich ($a < d$)

zunächst Bemessung ohne Öffnung

mögliche **Vorgehensweise** bei der Bemessung im Bereich der Öffnung:

1. **Schnittgrößen** $M_{Ed,m}$ und $V_{Ed,m}$ im Schnitt $m-m$ für vollen Querschnitt

2. Ermittlung der **Längskräfte** in den Gurten:

$$|D| = Z = M_{Ed,m} / z$$

3. **Querkräfte** in den Gurten (Sinnvollerweise zunächst Schubtragfähigkeit des gedrückten Gurtes Prüfen)

$$V_{Ed,\text{oben}} = k_o/(k_o+k_u) \cdot V_{Ed,m} \quad \text{und} \quad V_{Ed,\text{unten}} = k_u/(k_o+k_u) \cdot V_{Ed,m}$$

$$\text{Druckgurt: } k_o = (E \cdot I_o) / I^3 \quad (\text{Zustand I})$$

$$\text{Zuggurt: } k_u^I = (E \cdot I_u) / I^3 \quad (\text{QS überdrückt} \rightarrow \text{Zustand I})$$

$$k_u^{II} = 0,2 \cdot k_u^I \quad (\text{i.d.R.} \rightarrow \text{Zustand II})$$

→ Querkraftbemessung für die Gurte

4. Gurte für **Biegung mit Normalkraft** bemessen:

$$\max M_{\text{Gurt,oben}} = \pm V_{Ed,\text{oben}} \cdot I/2 \quad \text{und} \quad \max M_{\text{Gurt,unten}} = \pm V_{Ed,\text{unten}} \cdot I/2$$

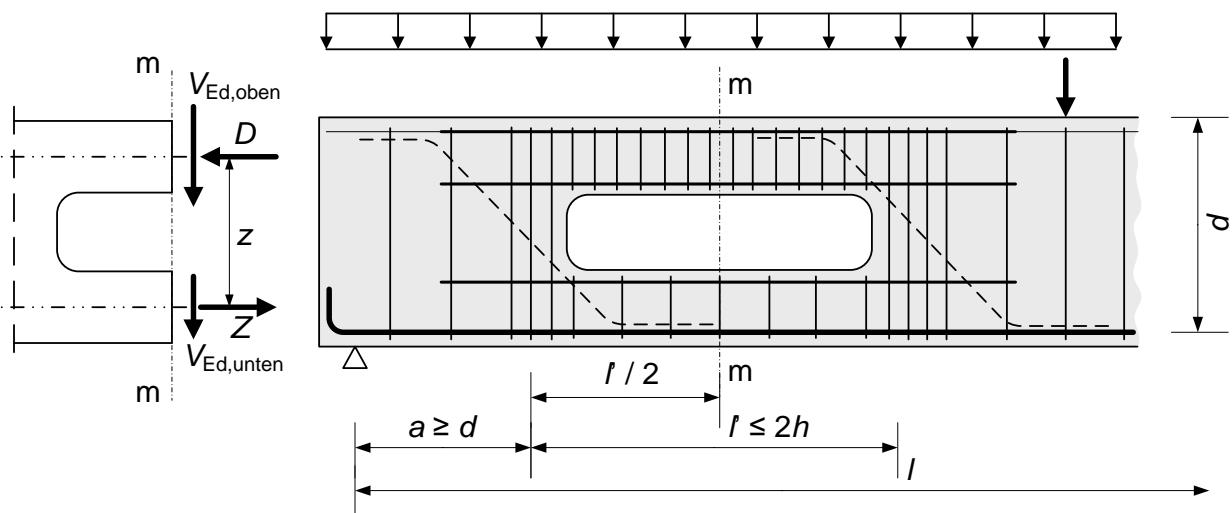
$$N_{Ed,\text{oben}} = D \quad \text{und} \quad N_{Ed,\text{unten}} = Z$$

5. **Aufhängebewehrung** neben der Öffnung:

auflagerferne Seite: Bügel für etwa $0,8 \cdot V_{Ed,m}$ ($\rightarrow V$ im Obergurt)

Auflagerseite: ca. 1-3 Bügel

6. ggf. zusätzliche **Schrägstäbe** an den einspringenden Ecken einlegen



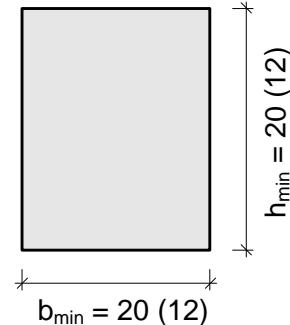
(b) Stützen / Druckglieder

Stütze: stabförmiges Druckglied, dessen größere Querschnittabmessung das Vierfache der kleineren Abmessung nicht übersteigt

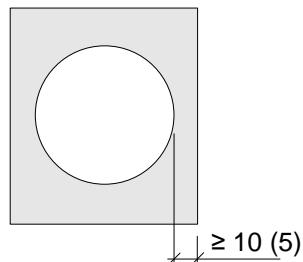
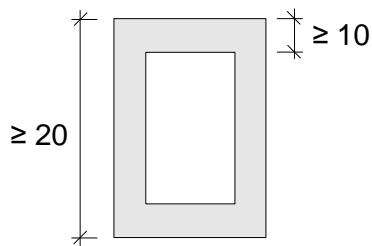
Druckglied: vorwiegend auf Druck beanspruchtes, stab- oder flächenförmiges Bauteil mit einer bezogenen Lastausmitte im GZT von $e_d/h \leq 3,5$ (sonst Biegebalken)

Die geringste zulässige **Seitenlänge** eines Stützenquerschnitts ist:

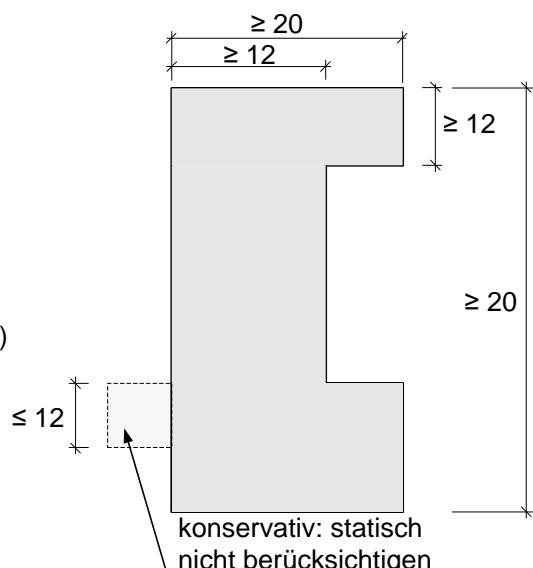
- 20 cm für Stützen mit Vollquerschnitt, die vor Ort betoniert werden
- 12 cm für waagerecht betonierte Fertigteilstützen (Klammerwerte)



Beispiele für Stützenabmessungen:



Empfehlung:



Typische Bemessung

- Interaktionsdiagramme
- bei zentrischen Lasten:
Spannungsanteilsaddition ($A_c \cdot \sigma_c + A_s \cdot \sigma_s$)

Achtung:

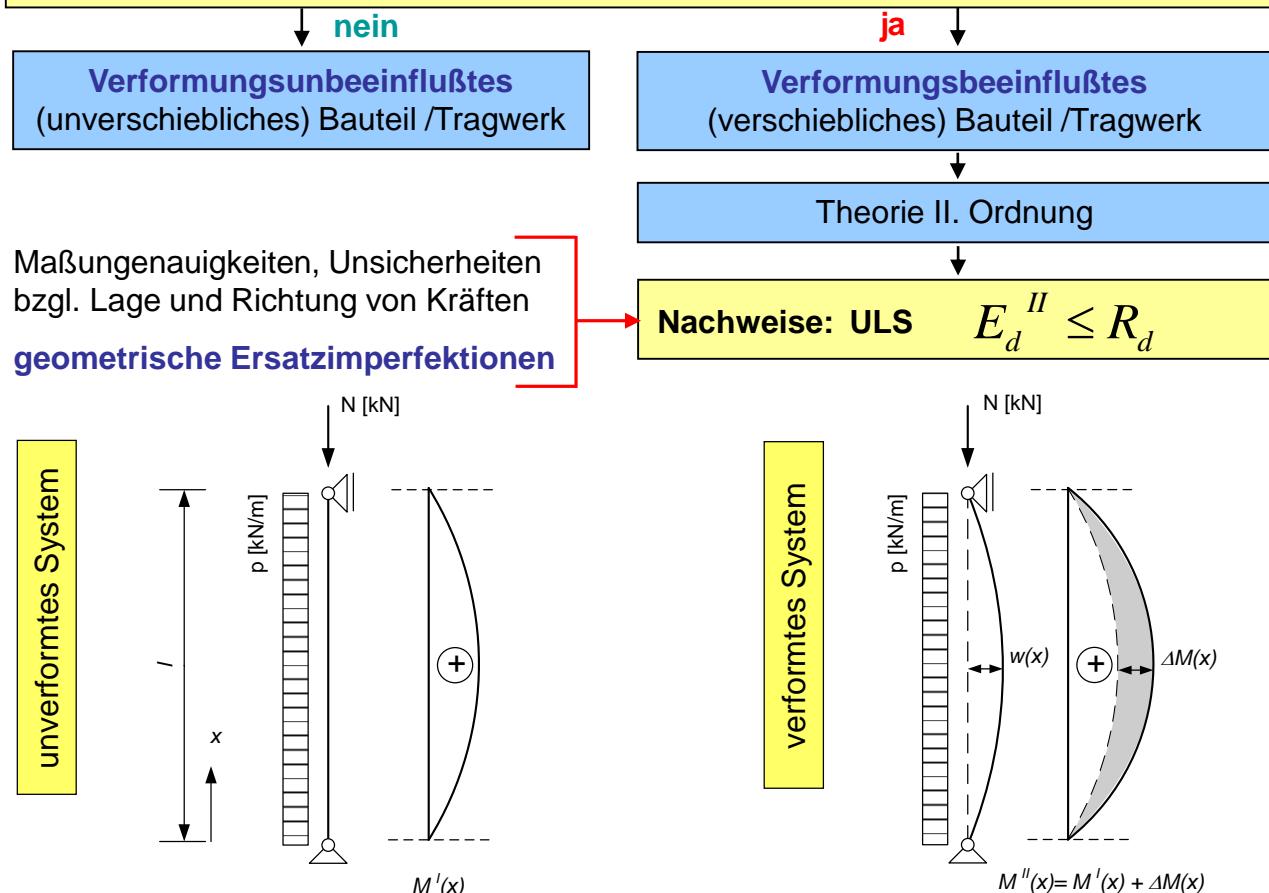
Bei **schlanken Druckgliedern** – ausgedrückt durch die Schlankheit $\lambda = s_k/i$ – sind zusätzliche Untersuchungen aufgrund einer wesentlichen Beeinflussung der inneren Schnittgrößen und damit der Dimensionierung durch Zusatzverformungen erforderlich (**Theorie II. Ordnung**). Von einer zu berücksichtigenden Verformungsbeeinflussung kann ausgegangen werden, wenn sich dadurch die Dimensionierung um mehr als ca. 10% ändert.

Wesentlicher Aspekt des Tragverhaltens schlanker Stahlbetondruckglieder ist nicht nur das bekannte Knickstabverhalten, sondern vielmehr die **durch Rissbildung hervorgerufenen Steifigkeitsverluste** und damit verbundenen Zusatzverformungen (Zustand II).

Modellvorstellung "Kragstütze mit überproportionaler Krümmungsausbildung gegenüber dem Moment" → Master Vorlesung WP01

Abgrenzung gegenüber schlanken Druckgliedern

Verringert sich die **Tragfähigkeit** von Tragwerken oder Bauteilen unter Berücksichtigung der Auswirkungen von Tragwerksverformungen um **mehr als 10%** ?



$$\text{Ersatzlänge } l_0 = \beta l_{col}$$

$$\text{Schlankheit } \lambda = \frac{l_0}{i}$$

$$\text{Trägheitsradius } i = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

Grenzschlankheiten

System	unverschieblich				verschieblich		
	gelenkig gelenkig	gelenkig starr eingesp.	starr eingesp.	elast. eingesp.	frei	starr eingesp.	elast. eingesp.
β (theoretisch)	1,0	0,7	0,5	0,5 bis 1,0	2,0	1,0	1,0 bis ∞
β (realistisch)	1,0	0,76	0,59	0,59 bis 1,0	2,2	1,2	1,2 bis ∞

Unverschiebliche Tragwerke

Einzeldruckglieder (versch. / unversch.)

$$\lambda_{vorh.} \begin{cases} \leq \lambda_{\max} \\ > \lambda_{\max} \end{cases}$$

Auswirkungen nach Th. II. Ord. brauchen **nicht** berücksichtigt zu werden.

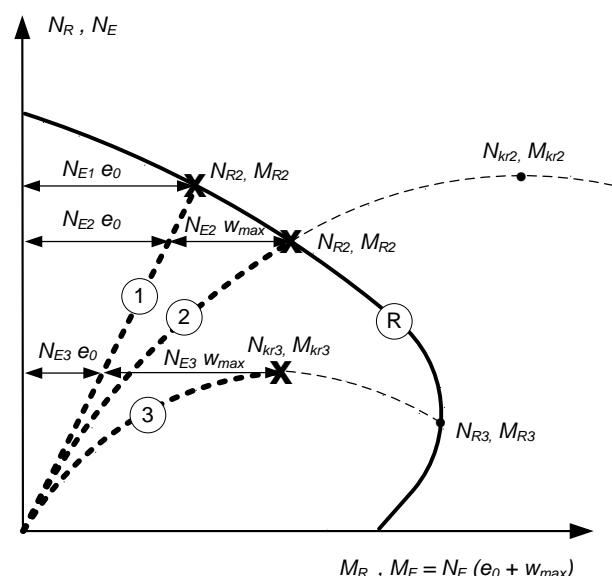
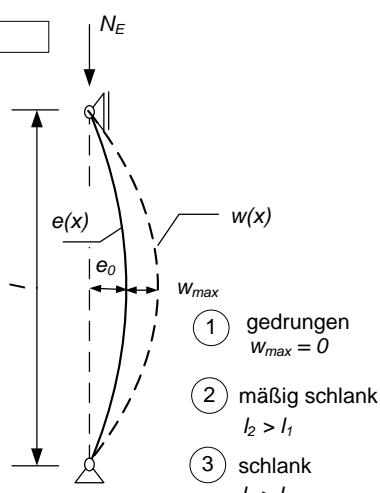
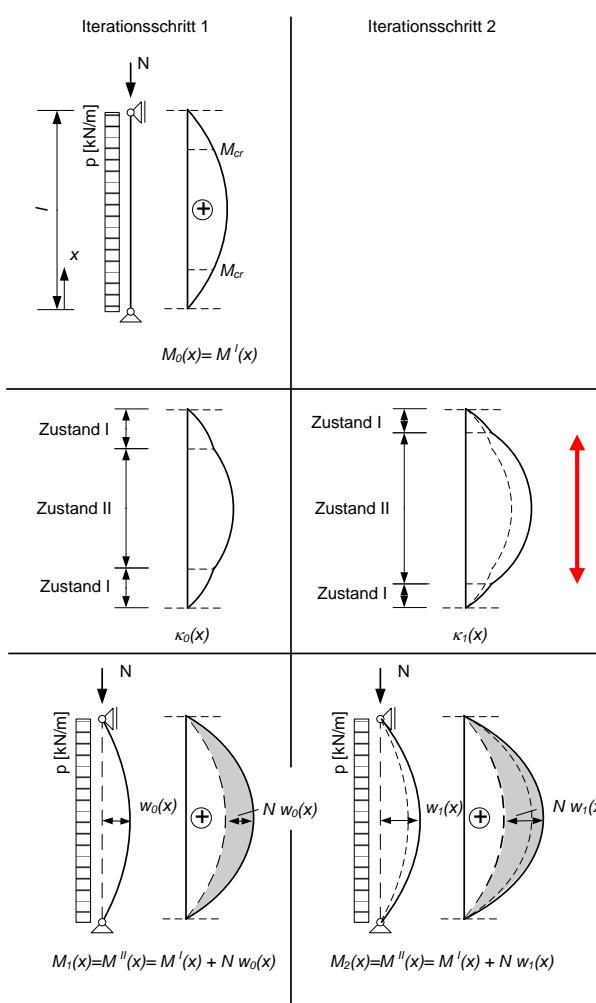
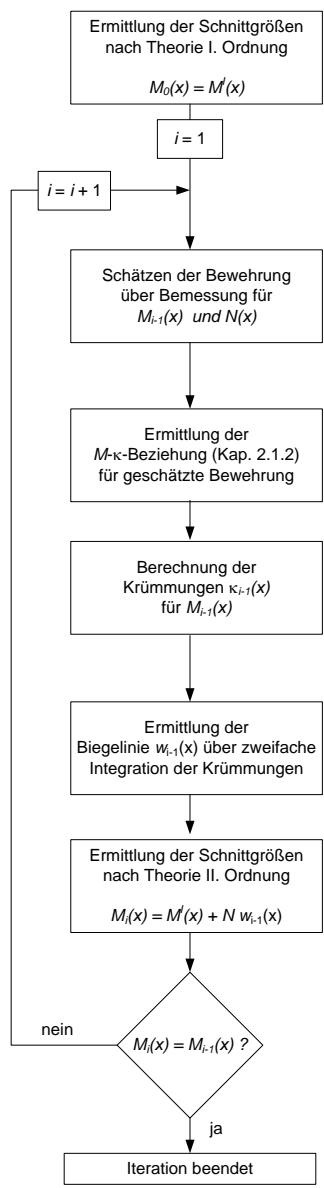
Schlankes Druckglied

$$1 \quad \lambda_{\max} = 25 \quad , \quad |\nu_{Ed}| \geq 0,41$$

$$2 \quad \lambda_{\max} = \frac{16}{\sqrt{|\nu_{Ed}|}} \quad , \quad |\nu_{Ed}| < 0,41$$

$$\text{mit: } \nu_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{A_c f_{cd}}$$

Beispiel

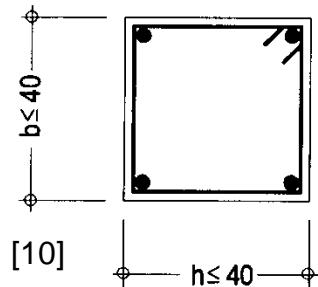
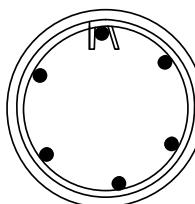


Ausführliche Behandlung "Bemessung nach Theorie II. Ordnung" → Master WP01

Längsbewehrung

Der Durchmesser der Längsbewehrungsstäbe muss mindestens 12 mm betragen.

- Abstand der Längsstäbe $\leq 30\text{cm}$
- $b \text{ und } h \leq 40\text{cm}$ \rightarrow ein Bewehrungsstab in den Ecken ausreichend
- polygonaler Querschnitt \rightarrow mindestens ein Stab je Ecke
- Kreisquerschnitt \rightarrow mindestens 6 Stäbe



Mindestwert der Längsbewehrung:

$$A_{s,\min} = 0,15 |N_{Ed}| / f_{yd} \quad \text{mit } f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s$$

Maximaler Bewehrungsquerschnitt, auch im Bereich von Übergreifungsstößen:

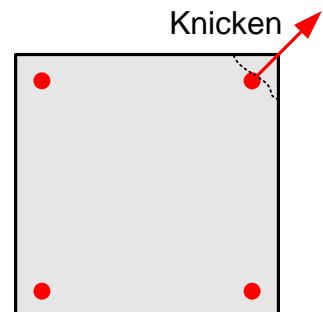
$$A_{s,\max} = 0,09 A_c$$

Querbewehrung

Beispiel:

$$\varnothing_{\text{längs}} = 20\text{mm}, h_{\text{Geschoss}} = 3000\text{mm}, \beta \geq 0,5$$

$$\begin{aligned} \lambda &= s_k / i_{\text{Stab}} = (3000 \cdot 0,5) / (0,25 \cdot 20) \\ &= 300 \rightarrow \text{jeder Stab würde ausknicken} \end{aligned}$$



\rightarrow Hinderung des Ausknickens durch Querbewehrung (z.B. Bügel)

$\lambda \leq 25 \rightarrow$ keine Berücksichtigung der Auswirkungen nach Th.II. Ordnung

$$\begin{aligned} s_{\text{Bügel}} &\leq (\lambda \cdot i_{\text{Stab}}) / \beta \\ &\leq (25 \cdot 0,25 d_s) / 0,5 \\ &\leq 12,5 d_s \end{aligned}$$

EC 2 : $s_{\text{Bügel}} \leq 12 \cdot d_s$

(Durchmesser d_s bezogen auf den gehaltenen Stab)

Hinweis: Ansatz Eulerfall 1, $\lambda=50$ Einfluss der Theorie II. Ord. 10 - 20%

Die Längsbewehrung von Stützen muss durch **Querbewehrung** (Bügel, Schlaufen oder Wendeln) umschlossen werden.



Bügelschlösser

Die Querbewehrung bei Stützen ist mit Haken zu verankern (135°)

Praxis bevorzugt 90° -Winkelhaken

Problem:

Abplatzen der Betondeckung (besonders bei Brandeinwirkung)



Bei Verwendung von 90° -Winkelhaken: **Maßnahmen zur Erhöhung des Widerstandes** gegen Abplatzen der Betondeckung (Stabdurchmesser, Bügelabstand...)

Die Bügelschlösser sind entlang der Stütze zu **versetzen!**

Mindeststabdurchmesser der Querbewehrung:

$$d_{s,Bü} \geq \begin{cases} 6 \text{ mm für Einzelbügel} \\ 5 \text{ mm für Betonstahlmatte} \\ \frac{1}{4} \text{ max. } d_{s,\text{längs}} \end{cases}$$

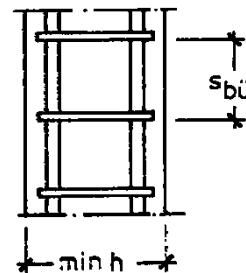
$$d_{s,V} = d_s \cdot \sqrt{n}$$

Bei Stabbündeln mit $d_{s,V} > 28 \text{ mm}$ und bei Stäben mit $d_s > 32 \text{ mm}$ als Druckbewehrung gilt:
 $d_{s,Bü} = 12 \text{ mm}$ (Einzelbügel oder Bügelwendeln)

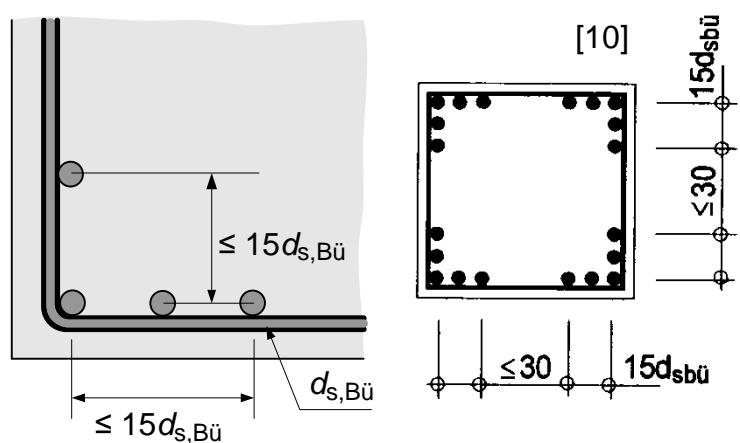


Höchstabstand der Querbewehrung:

$$s_{Bü} \leq \begin{cases} 30 \text{ cm} \\ \text{min } h \text{ bzw. } b \text{ bzw. } \varnothing \\ 12 d_{s,\text{längs}} \text{ (min. } \varnothing \text{ der Längsstäbe)} \end{cases}$$

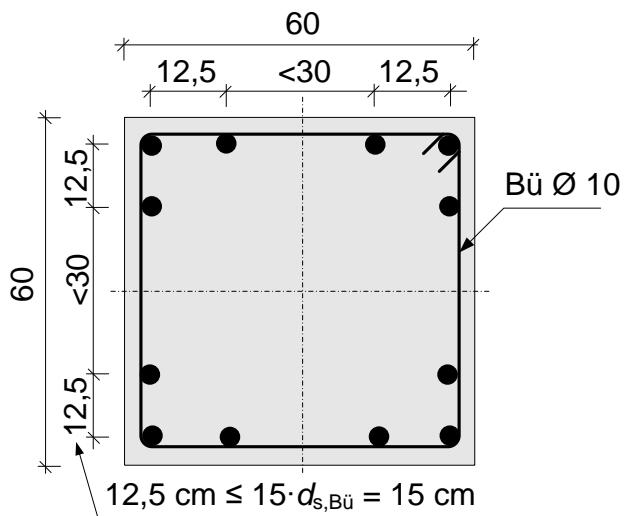


In der Nähe jeder Ecke ($15 d_{s,Bü}$) ist eine Anzahl von **maximal 5 Stäben** durch die Querbewehrung gegen Ausknicken gesichert.



Beispiel:

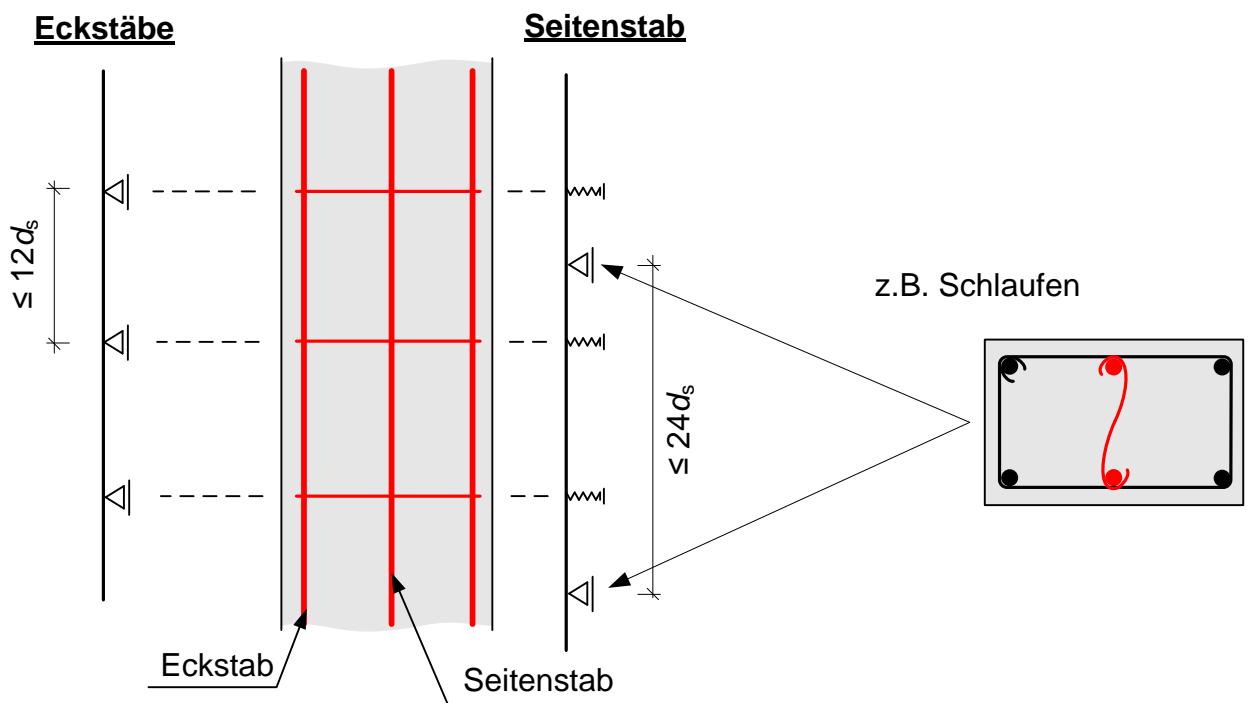
Stütze 60cm x 60cm



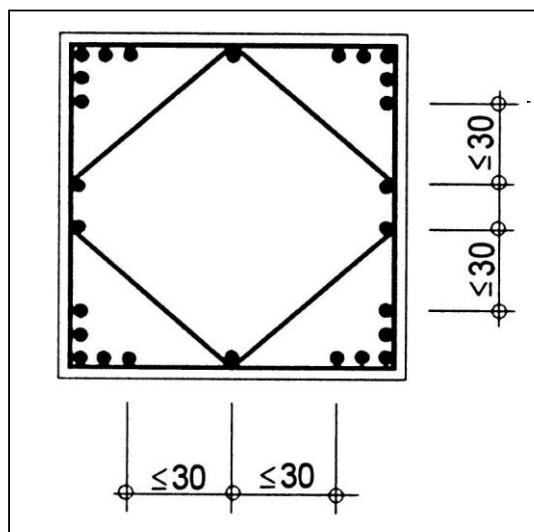
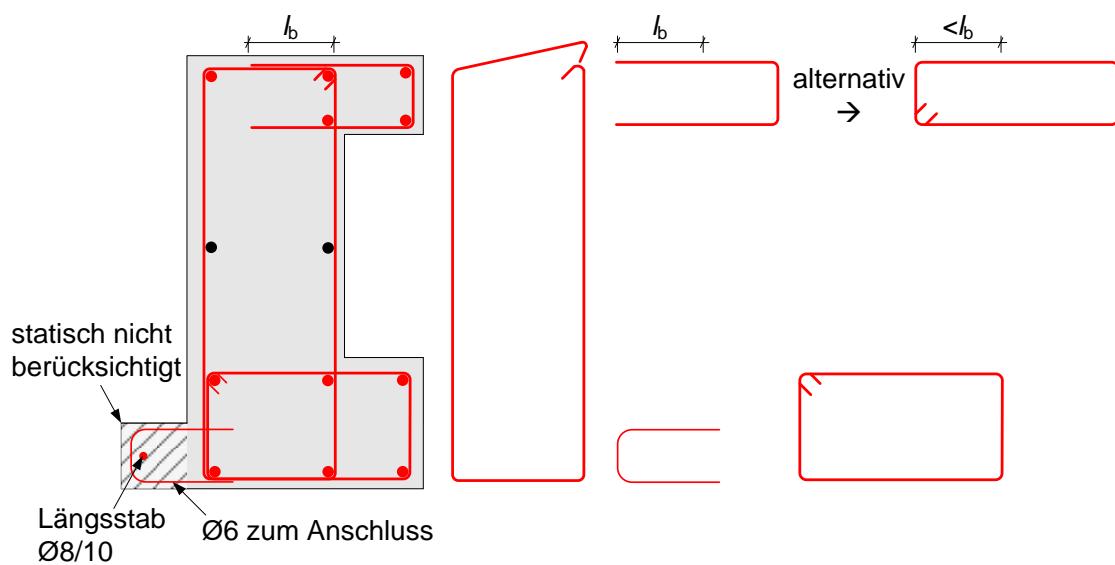
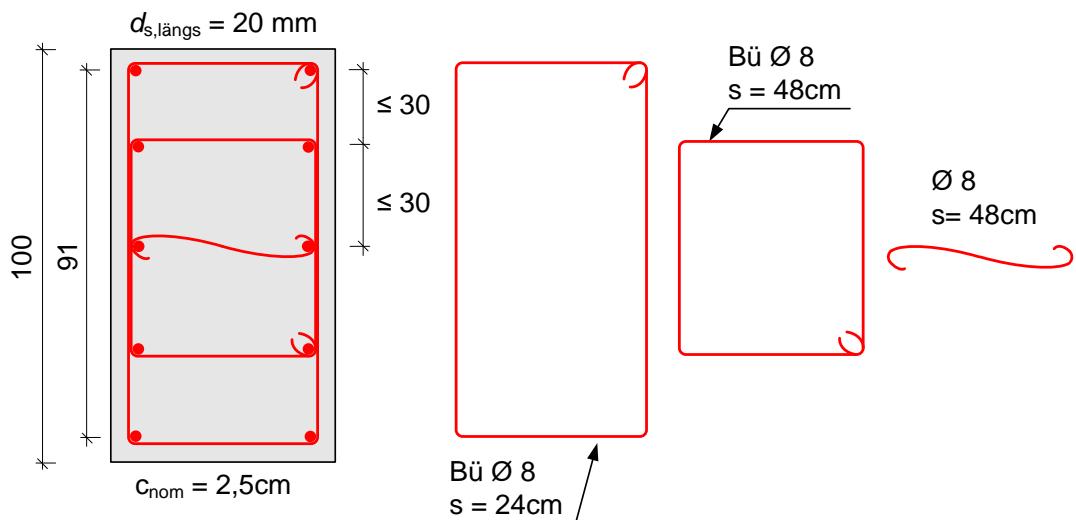
Bei **weiteren Längsstäben** und solchen mit $a > 15d_{s,Bü}$:

- zusätzliche Querbewehrung (z.B. Bügel oder Schlaufen)
- höchstens doppelter Abstand $s_{Bü}$

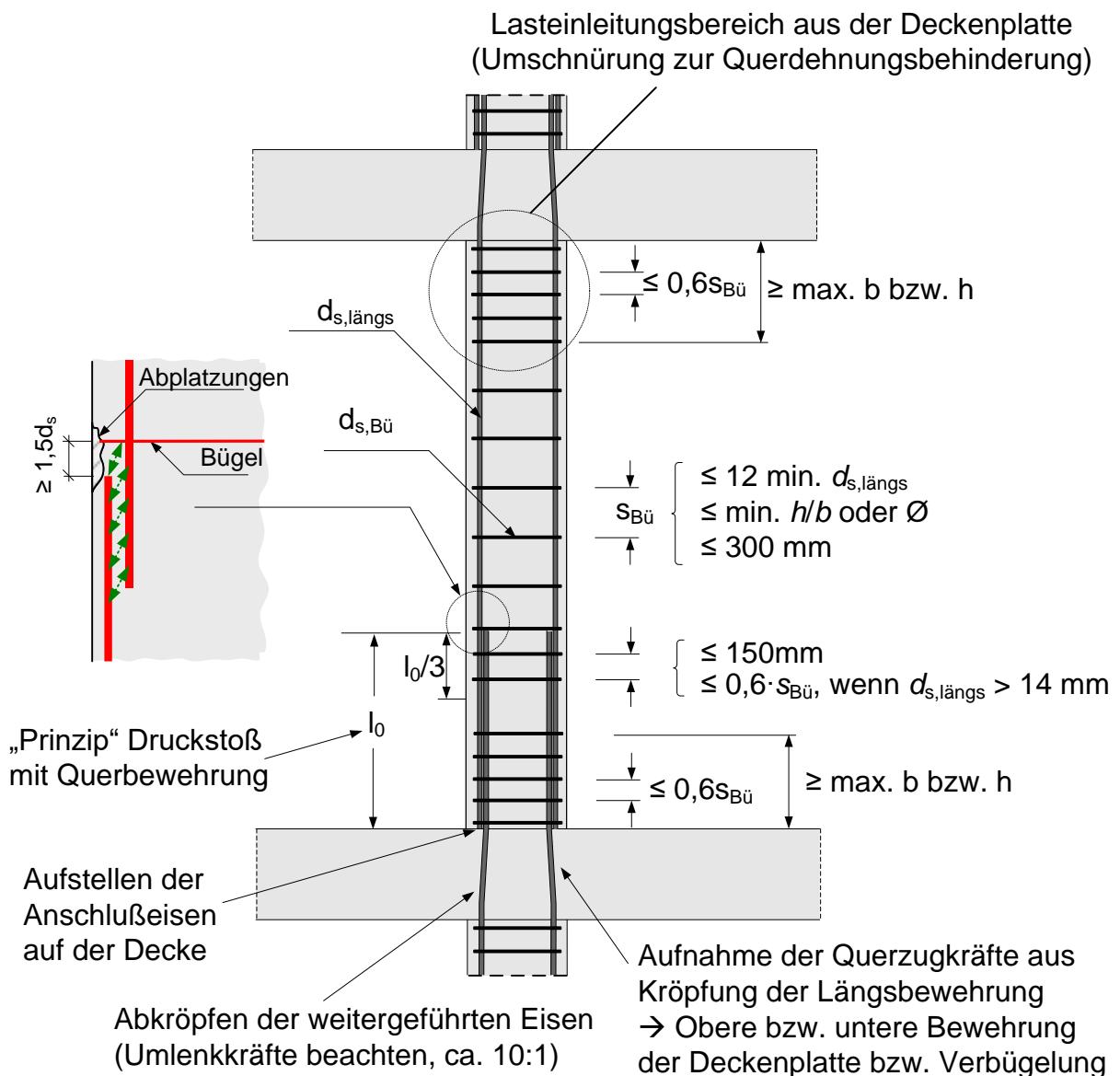
Hintergrund:



Beispiele



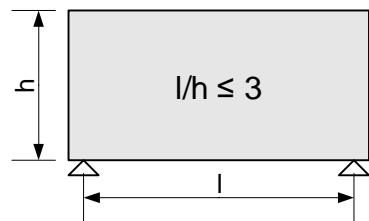
Typische Standardkonstruktionsarten



(c) Wandartige Träger

wandartiger Träger, scheibenartiger Träger:

ebenes, durch Kräfte parallel zur Mittelfläche vorwiegend auf Biegung beanspruchtes, scheibenartiges Bauteil, dessen Stützweite weniger als das Dreifache seiner Querschnittshöhe beträgt



Scheibe, Wand:

ebenes, durch Kräfte parallel zur Mittelfläche beanspruchtes, flächenförmiges Bauteil, dessen größere Querschnittsabmessung das Vierfache der kleineren übersteigt

Mindestbewehrung, Konstruktion

- **rechtwinkliges Bewehrungsnetz** an beiden Außenflächen
- **konstr. Mindestbew.** je Außenfläche und Richtung: $a_{s,min} = 1,5 \text{ cm}^2/\text{m}$ bzw. $0,075\% A_c$
- **Maschenweite** kleiner als doppelte Wanddicke bzw. 300 mm

Primärquelle [4]

Sekundärquellen [2] [10]

Minstdicken für tragende Wände

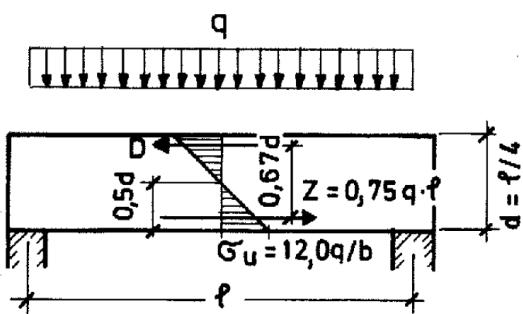
Zeile	Spalte		1	2	3	4
	Mindestwanddicken in mm		Unbewehrte Wände		Stahlbetonwände	
			Decken nicht durchlaufend	Decken durchlaufend	Decken nicht durchlaufend	Decken durchlaufend
1	C12/15 oder LC12/13	Ortbeton	200	140	–	–
2	ab C16/20	Ortbeton	140	120	120	100
3	oder LC16/18	Fertigteil	120	100	100	80

Lastabtrag bei wandartigen Trägern

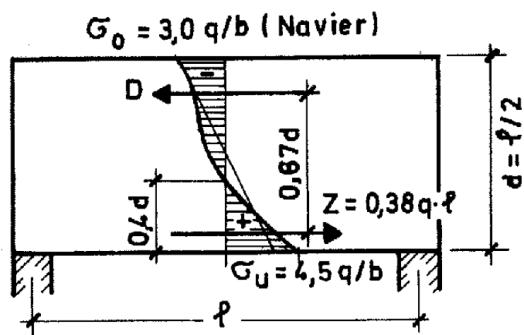
Wesentlicher Unterschied zu stabförmigen Trägern:

- Querschnitte bleiben nicht eben
- σ_x -Verlauf nicht geradlinig, sondern stark gekrümmt
- niedrige Zugzone und hohe Druckzone

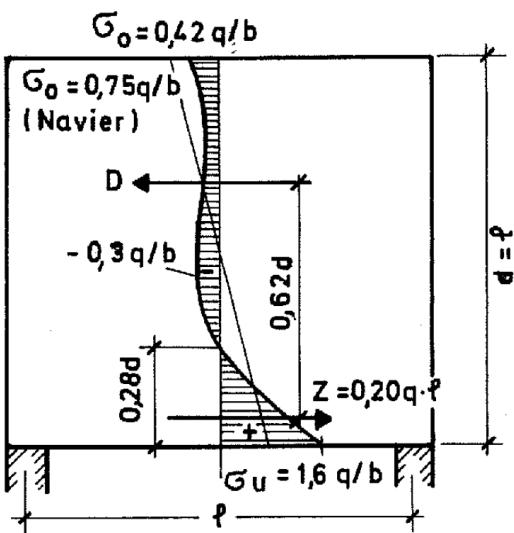
$\ell/d = 4$



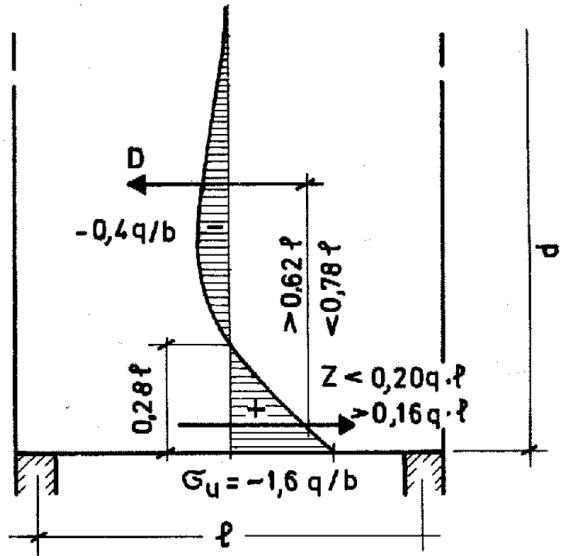
$\ell/d = 2$



$\ell/d = 1$



$\ell/d < 1$



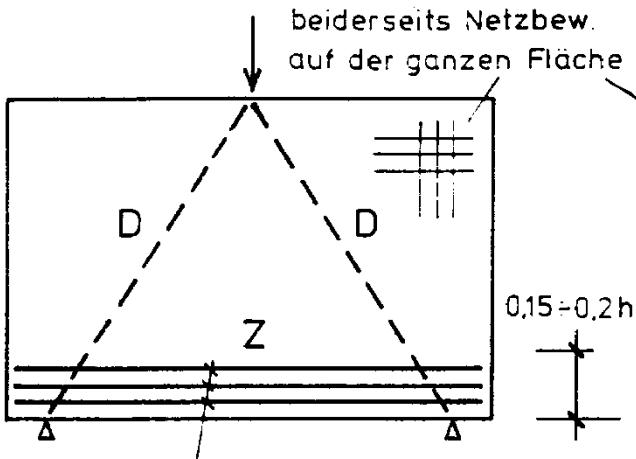
[6]

Modellvorstellungen

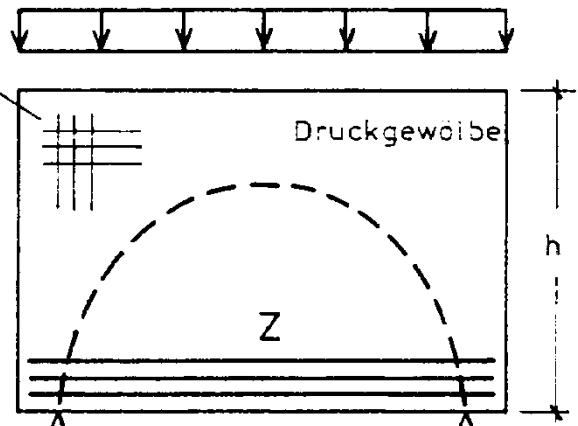
Direkte Lagerung, Belastung von oben

----- Zug
- - - Druck

Einzellast



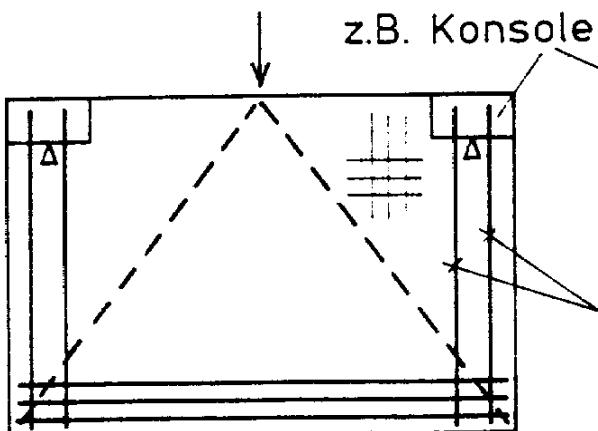
Gleichlast



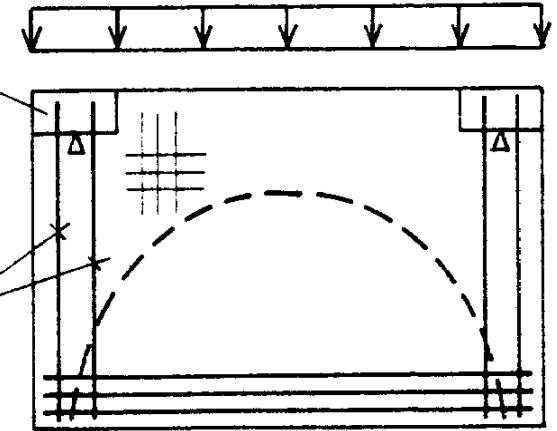
- **Gurtbewehrung** für die max. Gurtkraft Z ohne Abstufung von Auflager zu Auflager durchführen
- **Verteilung** der Zuggurtbewehrung auf eine Höhe von min $\begin{cases} 0,15 \text{ bis } 0,2 \cdot h \\ 0,15 \text{ bis } 0,2 \cdot l_{\text{eff}} \end{cases}$
- **Verankerung** für $0,8 \cdot Z$ (bei direkter Lagerung)

Indirekte Lagerung, Belastung von oben

Einzellast

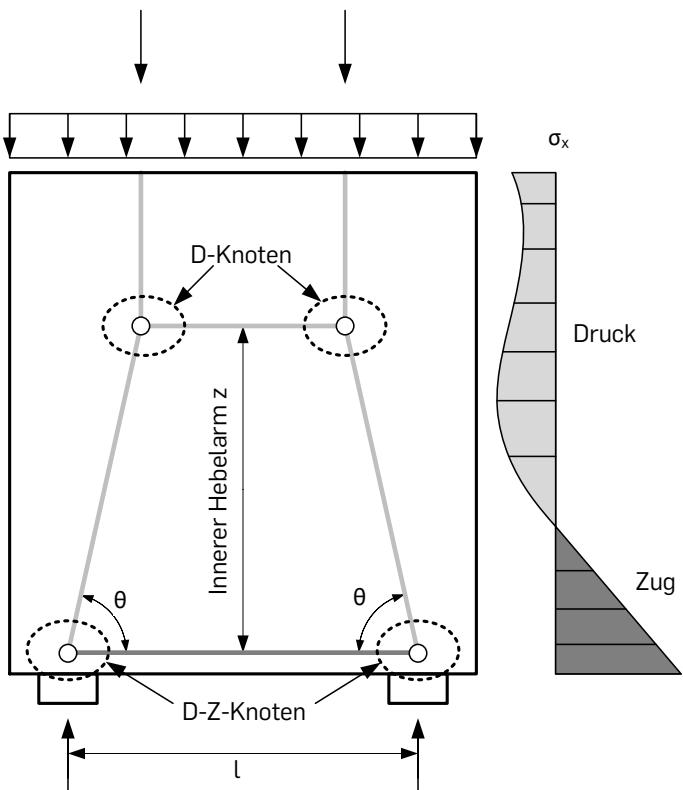


Gleichlast

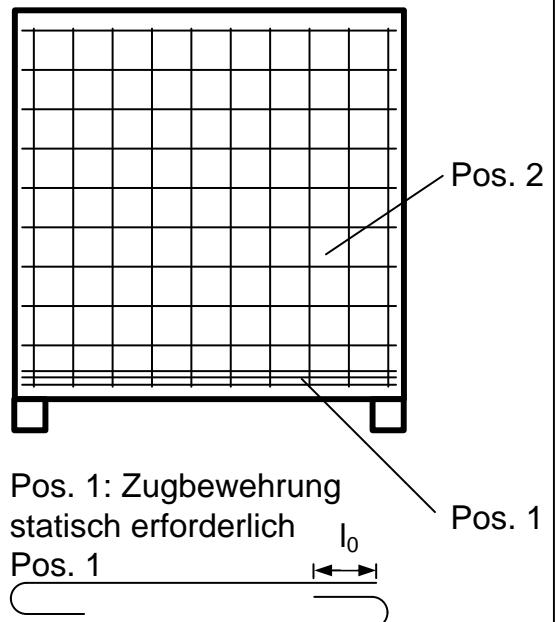


- Am Auflager lotrechte **Aufhängebewehrung**
- Verankerung der Aufhängebewehrung besonders untersuchen

Fachwerkmodell Einfeldträger (links) und Bewehrungsbeispiel (rechts)

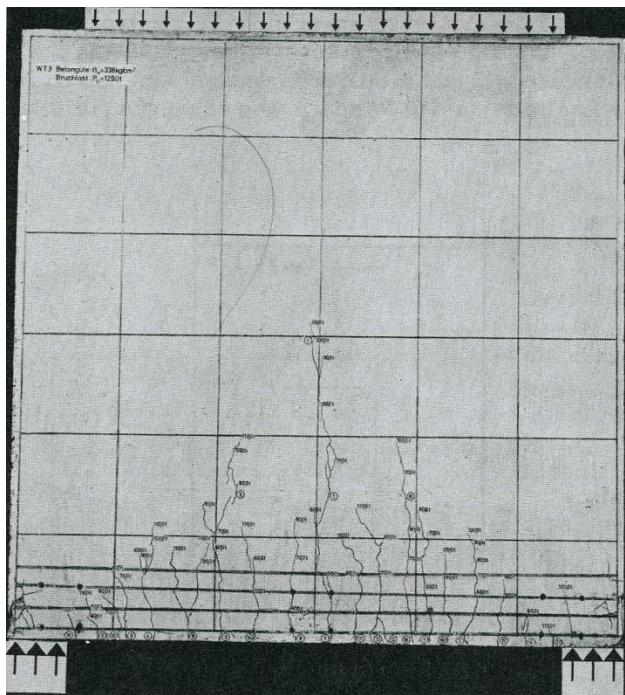


Pos. 2: Oberflächenbew.
konstruktiv erforderlich

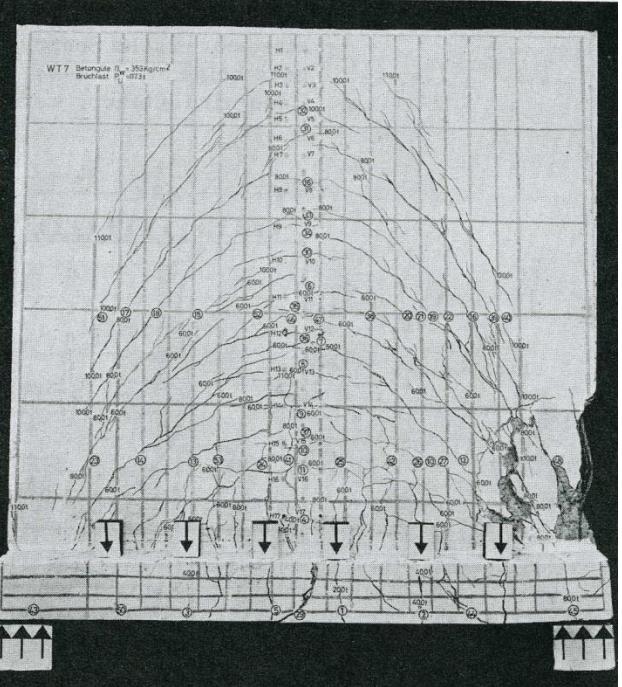


Rissbilder aus Bauteilversuchen

Belastung von oben



Belastung von unten



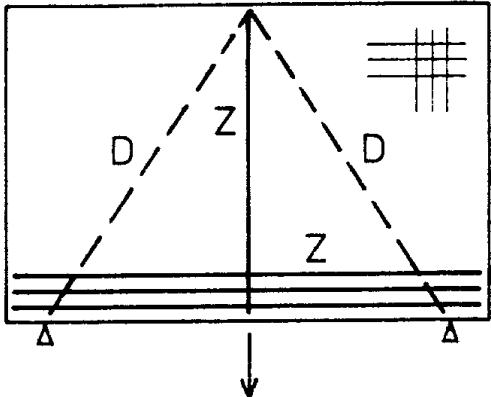
[6]

Direkte Lagerung, Belastung von unten

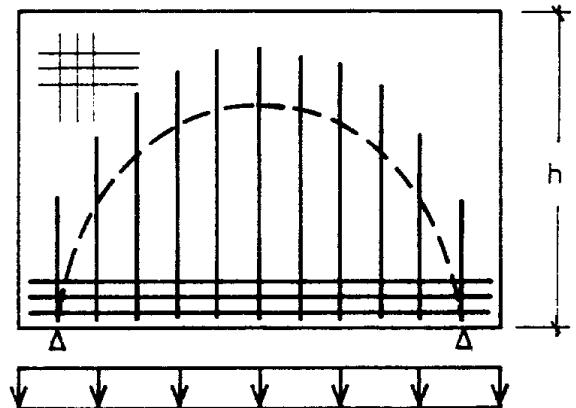
----- Zug
- - - Druck

Einzellast

Netzbewehrung beiderseits
auf der ganzen Fläche



Gleichlast

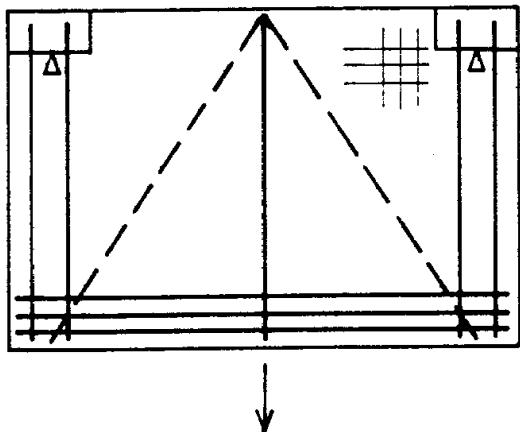


- **Gurtbewehrung** wie bei Belastung von oben anordnen
- **Aufhängebewehrung** zur Lasteinleitung erforderlich

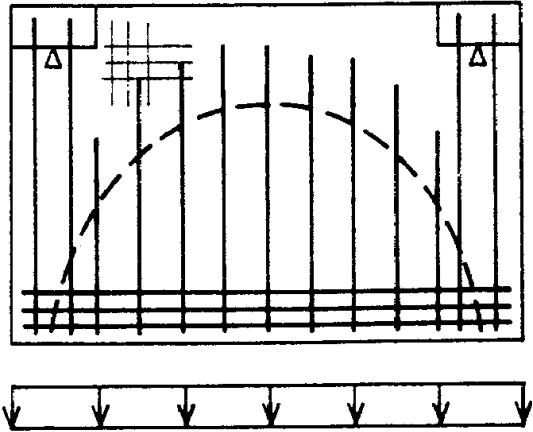
- Lasten hängen sich im **Druckgewölbe** auf
- **Verankerung** der lotrechten Aufhängebewehrung innerhalb des Druckgewölbes

Indirekte Lagerung, Belastung von unten

Einzellast



Gleichlast



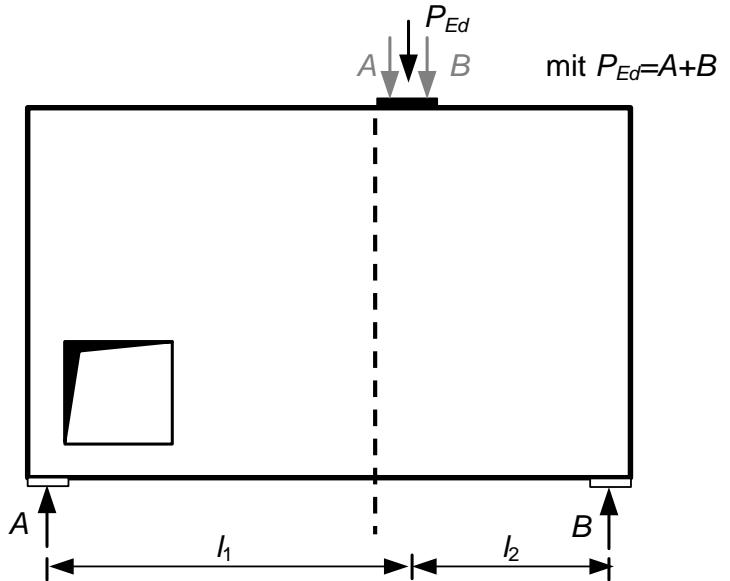
- Bewehrung wie oben
- zusätzlich lotrechte **Aufhängebewehrung an den Auflagern** erforderlich

Wand mit Öffnung

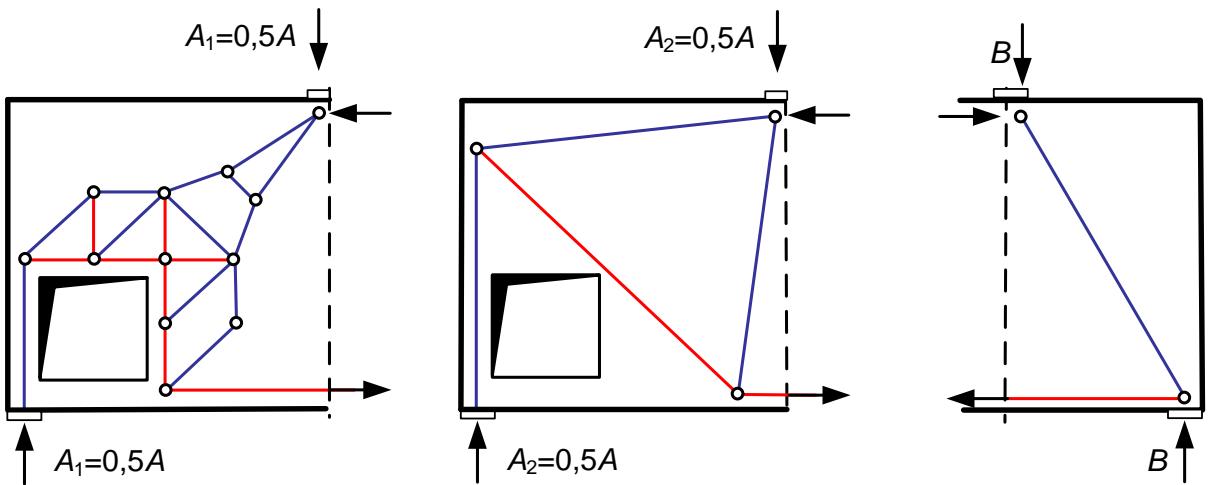
Ermittlung der Auflagerreaktionen
A, B am statischen Gesamtsystem

Aufteilung der Belastung im
linken Teilsystem:

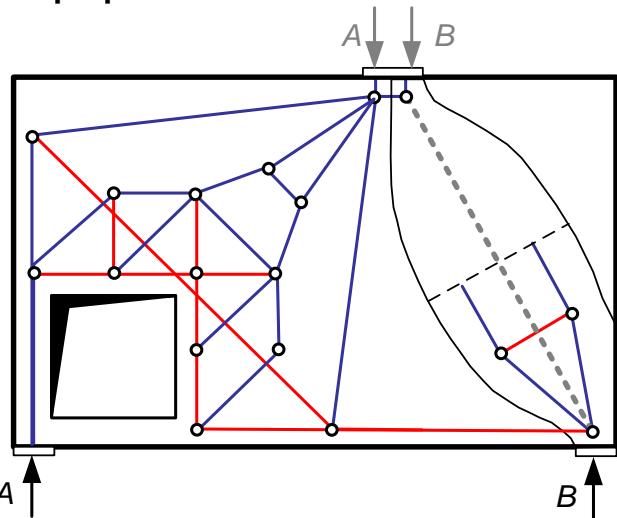
$$A = A_1 + A_2 \text{ mit } A_1 = A_2$$



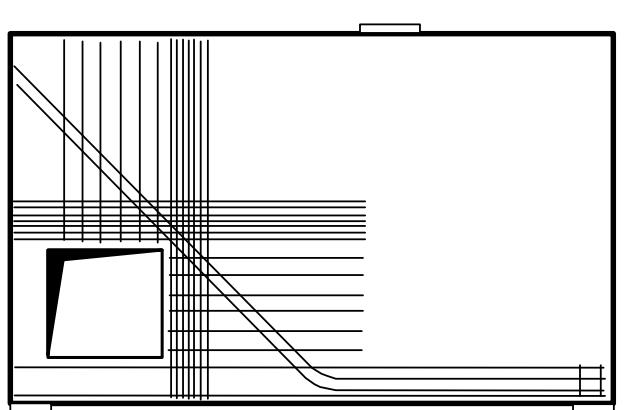
„aufgelöste Einzelfachwerke“



Superposition

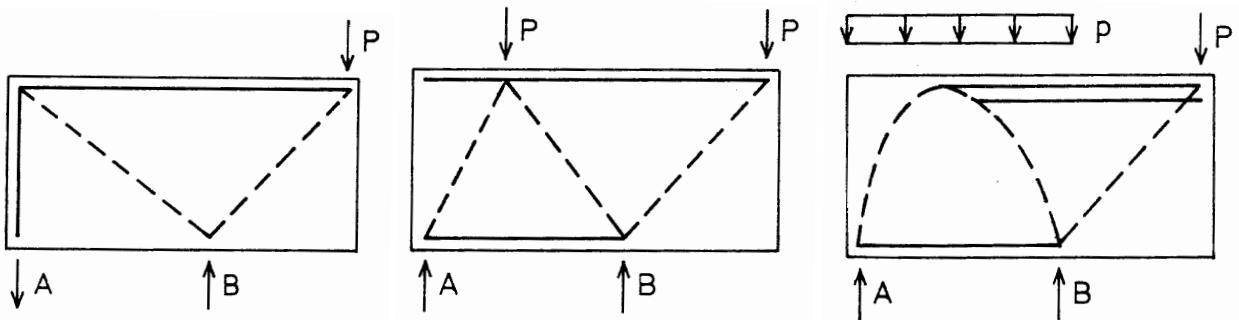


Anordnung der Bewehrung

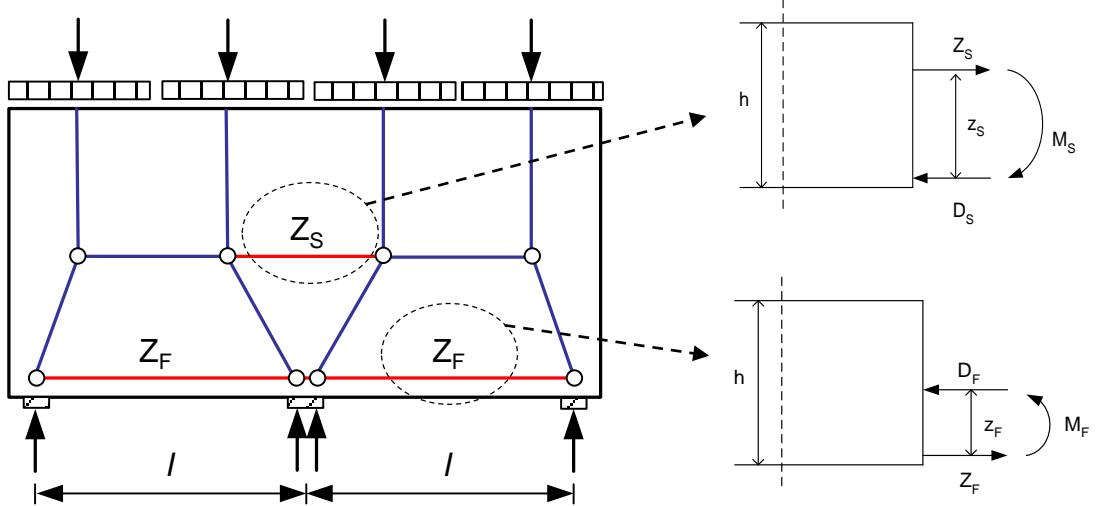


Auskragende Scheiben

Modellvorstellungen entsprechen denen für Konsolen



wandartiger Träger über mehrere Felder



Aufzunehmende Zugkräfte

im Feld und über der Stütze: $Z_F = M_F/z_F$ und $Z_S = M_S/z_S$

Hebelarm z hängt für $h/l \geq 1$ (Kragwände ≥ 2) nur noch von der **Spannweite l** ab

Abschätzung des Hebelarms z nach Heft 631 (Neuausgabe Heft 240) [36]
(Näherungsverfahren auf Basis der Balkentheorie)

System	Geometrie	Hebelarm z
Einfeldträger	$1/3 < h/l < 1,0$ $h/l \geq 1,0$	$z_F = 0,3 \cdot h \cdot (3 - h/l) \leq 0,8 h$ $z_F = 0,6 \cdot l$
Zweifeldträger und Endfeld Durchlaufträger	$0,3 < h/l < 1,0$ $h/l \geq 1,0$	$z_F = z_S = 0,5 \cdot h \cdot (1,9 - h/l)$ $z_F = z_S = 0,45 \cdot l$
Innenfeld Durchlaufträger	$0,2 < h/l < 1,0$ $h/l \geq 1,0$	$z_F = z_S = 0,5 \cdot h \cdot (1,8 - h/l)$ $z_F = z_S = 0,4 \cdot l$
Kragträger	$2/3 < h/l_k < 2,0$ $h/l_k \geq 2,0$	$z_S = 0,65 \cdot l_k + 0,1 \cdot h$ $z_S = 0,85 \cdot l_k$

Verteilung der Bewehrung

Feldbewehrung:

- untere Gurtbewehrung **ohne Abstufung** über die ganze Wandlänge durchführen
- über Zwischenstützen sind **Übergreifungsstöße** zulässig (möglichst nur 50%-Stöße)
- **Verteilung** der Zuggurtbewehrung auf eine Höhe von $\min\{0,15h; 0,1\}$
- Bauliche Durchbildung nach DAfStb-Heft 631:
 - Vollständig über die Auflager führen
 - Für 100% $F_{d,Feld}$ verankern (vorzugsweise liegende Schlaufen $D_{BR} \geq 10d_s$)

Stützbewehrung:

- **Verteilung** der Stützbewehrung abhängig von h / l_{eff}
- die Bewehrung zur Deckung der Stützmomente mindestens zur Hälfte über die ganze Wandlänge als Teil der Netzbewehrung durchführen
- Bauliche Durchbildung nach DAfStb-Heft 631:

Für Durchlaufträger:

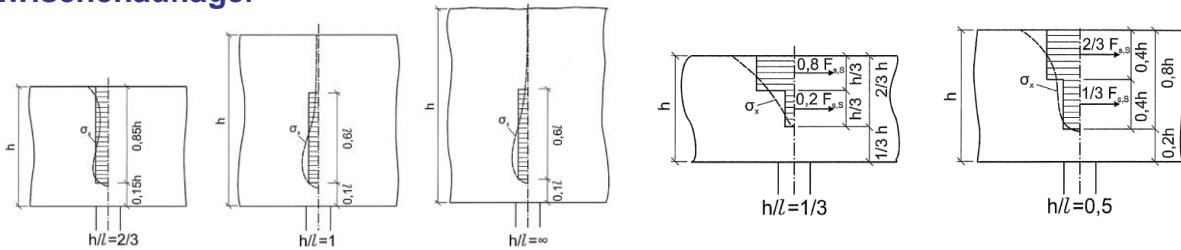
- min. $0,5 a_{s,S,erf}$ über die komplette Länge führen
- Restliche Bewehrung beidseitig mit $l/3$ ab Auflagerkante in die Feldbewehrung führen

Für Kragarme:

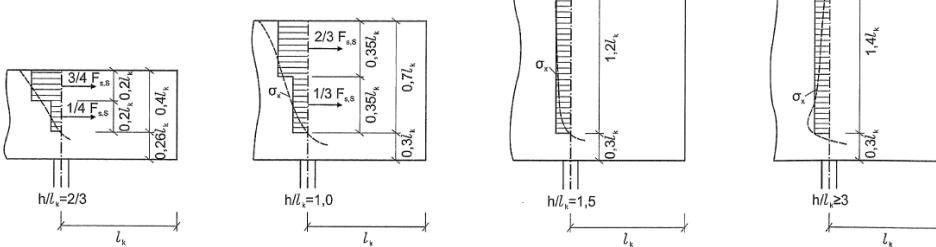
- min. $0,5 a_{s,S,erf}$ über die komplette Länge führen
- Restliche Bewehrung beidseitig mit $\min l = \max \begin{cases} 1,5 \cdot l_k \\ 0,3 \cdot l_{eff} \end{cases}$ ab Auflagerkante in die Feldbewehrung führen

Verteilung der Stützbewehrung nach der Spannungsverteilung [36]

Zwischenauflager



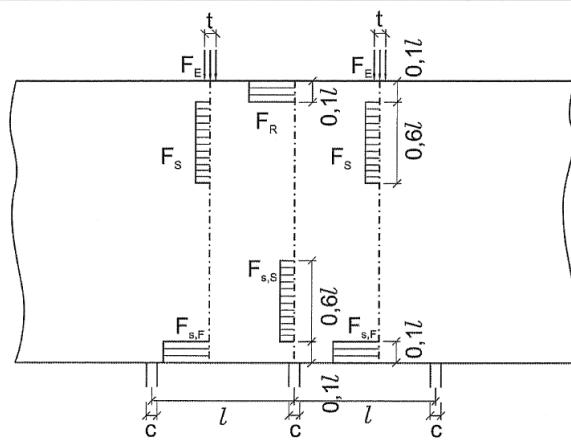
Kragträger



Resultierende Zugkräfte in einfeldrigen wandartigen Trägern

[36]

		$F_e = (f_{e,F} + f_{e,S})l$	F_e	$F_e/2$	$F_e/2$	F_e	$F_e/2$	$F_e/2$	$F_e/2$	$F_e/2$
		$c/l = t/l$	$0,1$	$\geq 0,2$	$0,1$	$\geq 0,2$	$0,1$	$\geq 0,2$	$0,1$	$\geq 0,2$
1/3	-	0,62	0,45	1,14	0,98	0,82	0,67	1,14	0,98	0,82
0,4	-	0,46	0,38	0,84	0,77	0,62	0,57	0,84	0,78	0,62
0,5	-	0,37	0,33	0,66	0,64	0,50	0,50	0,66	0,65	0,50
0,6	-	0,31	0,27	0,55	0,53	0,41	0,40	0,53	0,52	0,42
0,7	-	0,27	0,23	0,45	0,44	0,35	0,34	0,46	0,45	0,36
0,8	-	0,24	0,20	0,38	0,36	0,30	0,29	0,42	0,41	0,32
0,9	-	0,22	0,18	0,32	0,29	0,26	0,25	0,41	0,39	0,30
1,0	-	0,21	0,18	0,27	0,25	0,23	0,21	0,40	0,37	0,29
1,1	-	0,21	0,17	0,24 0,04	0,23	0,22	0,20	0,40	0,36	0,29
1,2	-	0,20	0,17	0,22 0,09	0,20 0,04	0,20	0,18	0,40	0,36	0,28
1,5	-	0,20	0,17	0,20 0,12	0,16 0,10	0,19 0,02	0,16 0,02	0,40	0,36	0,28
$\geq 2,0$	-	0,20	0,17	0,20 0,25	0,15 0,17	0,19 0,07	0,16 0,07	0,40	0,36	0,28



Verteilung der Hauptbewehrung
für die Zugkräfte $F_{s,F}$, $F_{s,S}$, F_S und F_R bei durchlaufenden wandartigen Trägern unter Einzellasten am oberen Rand (gezeigt für das Beispiel $h/l = 2$)

Resultierende Zugkräfte in zweifeldrigen bzw. in Randfeldern von mehrfeldrigen wandartigen Trägern

[36]

		$F_E = (f_{E,g} + f_{E,a}) \cdot l$	F_E	$F_E/2$	$F_E/2$	$F_E/2$
			je $l/2$	je $l/3$	je $l/2$	je $l/3$
$c/l = t/l$						
0,3	$\geq 0,1$					
	0,33	0,72	0,50	0,71	0,50	$F_{s,F}/F_E$
	0,39	0,66	0,56	0,66	0,57	$F_{s,S}/F_E$
	-	-	-	-	-	F_S/F_E
0,4	0,26	0,55	0,39	0,55	0,39	$F_{s,F}/F_E$
	0,27	0,44	0,37	0,44	0,39	$F_{s,S}/F_E$
	-	-	-	-	-	F_S/F_E
	-	-	-	-	-	F_R/F_E
0,5	0,22	0,47	0,35	0,47	0,35	$F_{s,F}/F_E$
	0,24	0,31	0,29	0,32	0,32	$F_{s,S}/F_E$
	-	-	-	-	-	F_S/F_E
	-	-	-	-	-	F_R/F_E
0,6	0,19	0,41	0,31	0,43	0,32	$F_{s,F}/F_E$
	0,22	0,25	0,24	0,27	0,28	$F_{s,S}/F_E$
	-	-	-	-	-	F_S/F_E
	-	-	-	-	-	F_R/F_E
0,7	0,18	0,36	0,29	0,40	0,30	$F_{s,F}/F_E$
	0,21	0,23	0,22	0,27	0,27	$F_{s,S}/F_E$
	-	-	-	-	-	F_S/F_E
	-	-	-	-	-	F_R/F_E
0,8	0,17	0,33	0,27	0,38	0,29	$F_{s,F}/F_E$
	0,20	0,24	0,22	0,30	0,28	$F_{s,S}/F_E$
	-	-	-	-	-	F_S/F_E
	-	0,01	0,01	-	-	F_R/F_E
0,9	0,16	0,30	0,25	0,37	0,28	$F_{s,F}/F_E$
	0,19	0,25	0,22	0,32	0,30	$F_{s,S}/F_E$
	-	-	-	-	-	F_S/F_E
	-	0,02	0,02	-	-	F_R/F_E
1,0	0,15	0,28	0,23	0,36	0,27	$F_{s,F}/F_E$
	0,19	0,26	0,23	0,34	0,31	$F_{s,S}/F_E$
	-	0,01	-	-	-	F_S/F_E
	-	0,02	0,02	-	-	F_R/F_E
1,5	0,14	0,20	0,19	0,36	0,25	$F_{s,F}/F_E$
	0,19	0,27	0,24	0,34	0,32	$F_{s,S}/F_E$
	-	0,10	0,01	-	-	F_S/F_E
	-	0,03	0,03	-	-	F_R/F_E
$\geq 2,0$	0,14	0,18	0,17	0,36	0,25	$F_{s,F}/F_E$
	0,19	0,27	0,24	0,34	0,32	$F_{s,S}/F_E$
	-	0,15	0,04	-	-	F_S/F_E
	-	0,05	0,05	-	-	F_R/F_E

Resultierende Zugkräfte in Innenfeldern von durchlaufenden wandartigen Trägern [36]

	$F_c = (f_{e,g} + f_{e,a}) \cdot l$	F_c	$F_c/2 F_E/2 F_E/2 F_E/2$	$F_c/2 F_E/2 F_E/2 F_E/2$	$F_c/2 F_E/2 F_E/2 F_E/2$	
		Lastangriff in beliebiger Höhe				
$c/l = t/l$	0,05 0,1 $\geq 0,2$	$\geq 0,1$	$\geq 0,1$	0,05 0,1 $\geq 0,2$	$\geq 0,1$	
h/l						
0,2	0,32 0,31 0,30 0,55 0,51 0,40 - - - - - -	0,85 0,82 - -	0,41 0,72 - -	0,90 0,85 0,74 0,87 0,82 0,68 - - - - - -	0,41 0,72 - - - -	$F_{s,F}/F_E$ $F_{s,S}/F_E$ F_S/F_E F_R/F_E
0,3	0,21 0,21 0,21 0,38 0,35 0,29 - - - - - -	0,56 0,56 - -	0,28 0,49 - -	0,59 0,56 0,50 0,59 0,56 0,50 - - - - - -	0,28 0,49 - - - -	$F_{s,F}/F_E$ $F_{s,S}/F_E$ F_S/F_E F_R/F_E
0,4	0,16 0,16 0,16 0,29 0,27 0,22 - - - - - -	0,37 0,37 - -	0,17 0,29 - -	0,44 0,42 0,37 0,44 0,42 0,37 - - - - - -	0,17 0,30 - - - -	$F_{s,F}/F_E$ $F_{s,S}/F_E$ F_S/F_E F_R/F_E
0,5	0,12 0,12 0,12 0,26 0,23 0,19 - - - - - -	0,30 0,30 - -	0,14 0,24 - -	0,33 0,32 0,29 0,33 0,32 0,29 - - - - - -	0,13 0,26 - - - -	$F_{s,F}/F_E$ $F_{s,S}/F_E$ F_S/F_E F_R/F_E
0,6	0,10 0,10 0,10 0,25 0,22 0,18 - - - - - -	0,26 0,26 - -	0,12 0,20 - -	0,31 0,29 0,26 0,31 0,29 0,26 - - - - - -	0,12 0,25 - - - -	$F_{s,F}/F_E$ $F_{s,S}/F_E$ F_S/F_E F_R/F_E
0,7	0,09 0,09 0,09 0,25 0,21 0,17 - - - - - -	0,23 0,23 - -	0,11 0,18 - -	0,30 0,28 0,24 0,30 0,28 0,24 - - - - - -	0,11 0,25 - - - -	$F_{s,F}/F_E$ $F_{s,S}/F_E$ F_S/F_E F_R/F_E
0,8	0,09 0,09 0,09 0,25 0,21 0,16 - - - - - -	0,21 0,21 - -	0,10 0,10 - 0,08	0,30 0,28 0,24 0,30 0,28 0,24 - - - - - -	0,10 0,25 - - - -	$F_{s,F}/F_E$ $F_{s,S}/F_E$ F_S/F_E F_R/F_E
1,0	0,09 0,09 0,09 0,25 0,21 0,16 - - - - - -	0,10 0,11 0,11 0,10	0,09 0,14 0,02 0,07	0,30 0,28 0,24 0,30 0,28 0,24 - - - - - -	0,10 0,25 - - - -	$F_{s,F}/F_E$ $F_{s,S}/F_E$ F_S/F_E F_R/F_E
1,5	0,09 0,09 0,09 0,25 0,21 0,16 - - - - - -	0,09 0,19 0,19 0,09	0,09 0,19 0,02 0,06	0,30 0,28 0,24 0,30 0,28 0,24 - - - - - -	0,10 0,25 - - - -	$F_{s,F}/F_E$ $F_{s,S}/F_E$ F_S/F_E F_R/F_E
$\geq 2,0$	0,09 0,09 0,09 0,25 0,21 0,16 - - - - - -	0,09 0,20 0,20 0,09	0,09 0,20 0,02 0,06	0,30 0,28 0,24 0,30 0,28 0,24 - - - - - -	0,10 0,25 - - - -	$F_{s,F}/F_E$ $F_{s,S}/F_E$ F_S/F_E F_R/F_E

Resultierende Zugkräfte in auskragenden Trägern

[36]

	$F_E = (f_{E,0} + f_{E,s}) \cdot l_k$ Lastangriff in beliebiger Höhe			
$c/l_k = t/l_k$	$\geq 0,2$	$\geq 0,2$	$\geq 0,2$	
h/l_k				
2/3	0,87 -	- 1,65	1,63 -	$F_{s,S}/F_E$ F_R/F_E
0,8	0,75 -	- 1,43	1,42 -	$F_{s,S}/F_E$ F_R/F_E
0,9	0,68 -	- 1,28	1,27 -	$F_{s,S}/F_E$ F_R/F_E
1,0	0,63 -	- 1,16	1,16 -	$F_{s,S}/F_E$ F_R/F_E
1,1	0,58 -	- 1,04	1,05 -	$F_{s,S}/F_E$ F_R/F_E
1,2	0,56 -	- 0,94	0,98 -	$F_{s,S}/F_E$ F_R/F_E
1,5	0,55 -	- 0,71	0,87 -	$F_{s,S}/F_E$ F_R/F_E
2,0	0,54 -	0,13 0,48	0,86 -	$F_{s,S}/F_E$ F_R/F_E
3,0	0,54 -	0,35 0,38	0,86 -	$F_{s,S}/F_E$ F_R/F_E
$\geq 4,0$	0,54 -	0,48 0,38	0,86 -	$F_{s,S}/F_E$ F_R/F_E

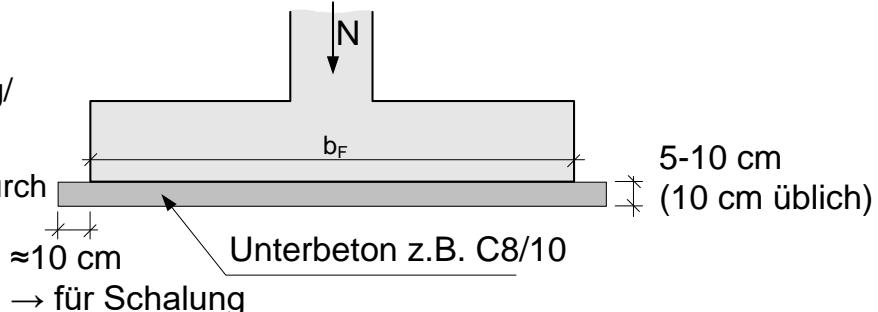
(d) Fundamente

Die **Abmessungen** von Fundamenten hängen ab von:

- der Beschaffenheit des **Baugrundes**
(z.B. Steifigkeit und zulässige Bodenpressungen: $F/b_F \leq \text{zul.}\sigma_{\text{Boden}} \rightarrow b_F$)
- dem Bauwerk zumutbare **Setzungen**
(problematisch sind z.B. ungleiche Setzungen benachbarter Fundamente)

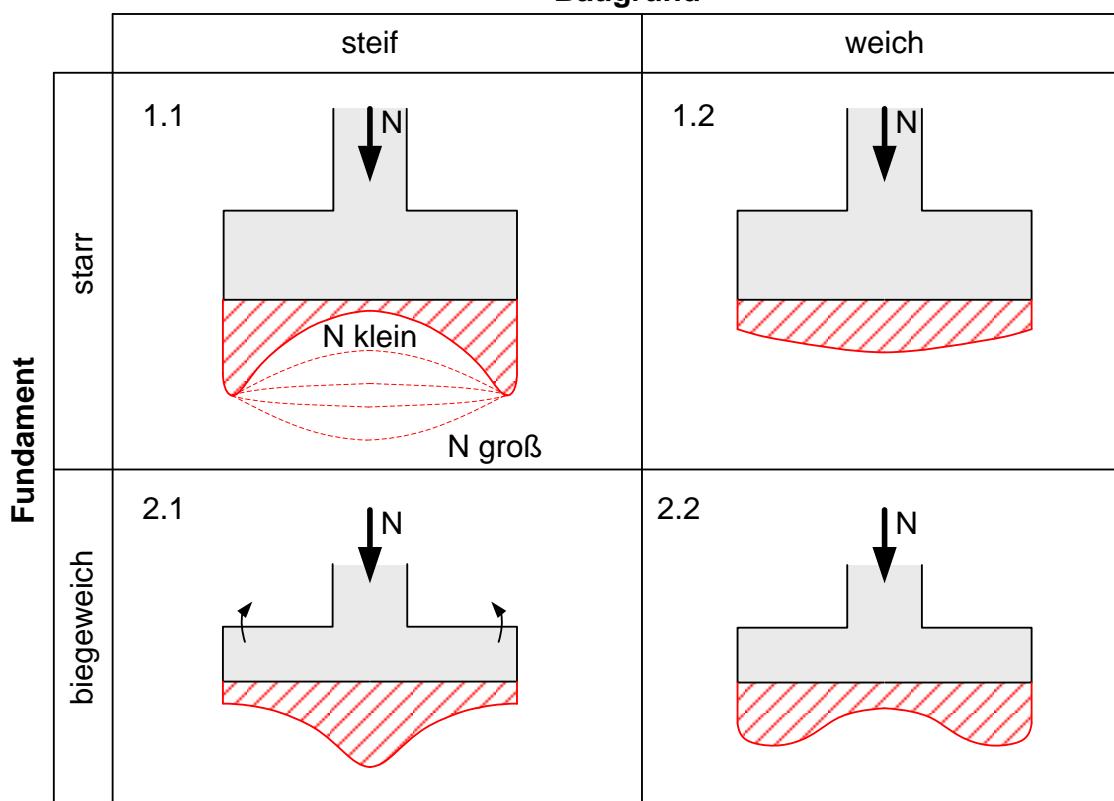
Sauberkeitsschicht:

- definierte Betondeckung/
Schalung
- keine Verunreinigung durch
Erdmaterial



Verteilung der Bodenpressung

Baugrund

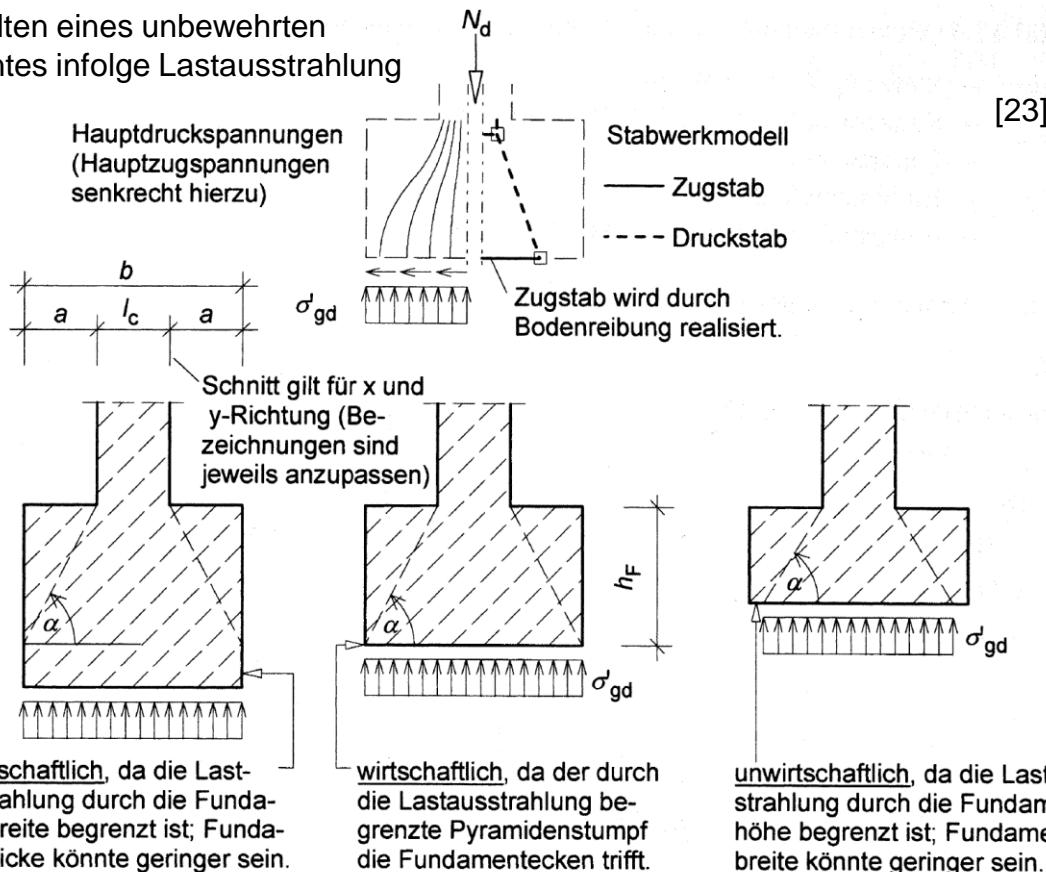


Rechnerischer Ansatz der Bodenpressungen:

- 1.1 GZT: gleichmäßig verteilte Bodenpressung darf angesetzt werden
GZG: wenn maßgebend, ist eine genauere Berechnung erforderlich
- 1.2 GZT und GZG: gleichmäßige Verteilung ergibt zutreffende Ergebnisse
- 2.1 GZT und GZG: gleichmäßige Verteilung liegt auf der sicheren Seite,
ist aber unwirtschaftlich
- 2.2 ähnlich 1.1, auf niedrigerem Niveau

Unbewehrte Fundamente

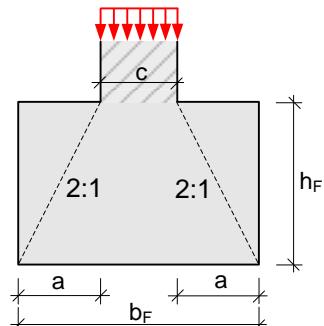
Tragverhalten eines unbewehrten Fundamentes infolge Lastausstrahlung



Streifenfundamente dürfen ohne weiteren Nachweis unbewehrt ausgeführt werden, wenn gilt:

$$h_F / a \geq 2$$

(z.B. Wohnhäuser)



Streifenförmige und flache Einzelfundamente

unter annähernd zentrischer Belastung dürfen unbewehrt ausgeführt werden, wenn gilt:

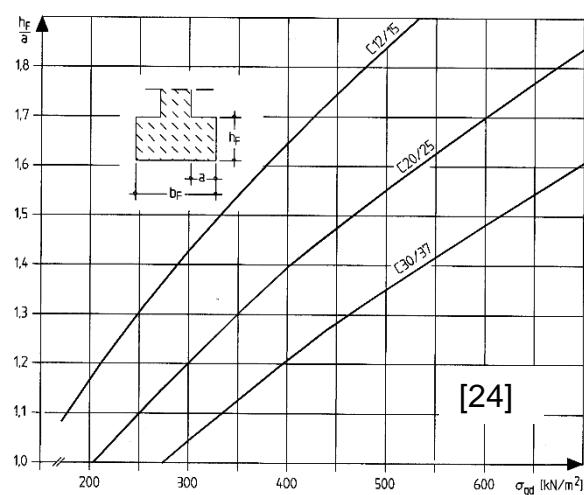
[1] [2]

$$0,85 \frac{h_F}{a} \geq \sqrt{\frac{3\sigma_{gd}}{f_{ctd,pl}}}$$

mit σ_{gd} Bemessungswert des Sohldrucks

$f_{ctd,pl}$ Bemessungswert der Betonzugfestigkeit

- das Verhältnis h_F / a muss mindestens 1,0 betragen
- Für $f_{ctd,pl}$ darf f_{ctd} angesetzt werden

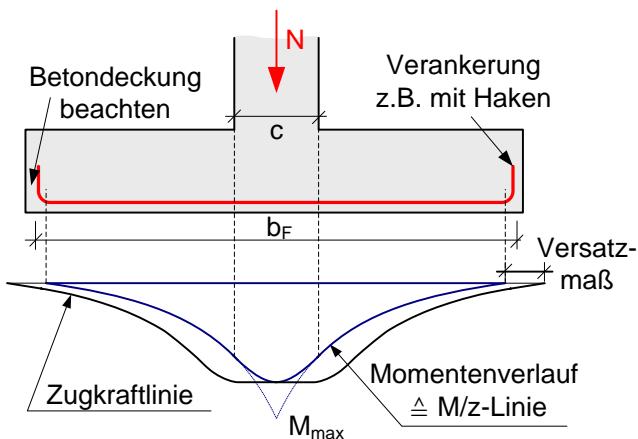


Bewehrte Fundamente

In Fundamentplatten verlaufen die **Hauptmomente** in Stützennähe radial und tangential. Näherungsweise werden jedoch die **Momente M_x und M_y** parallel zu den Kanten verwendet. Das größte Gesamtbiegemoment je Richtung (rechteckiger Grundriss, mittige und lotrechte Stützlast, gleichmäßige Bodenpressung) beträgt:

$$\text{maximales Moment: } M_{\max} = F \cdot \frac{b_F}{8}$$

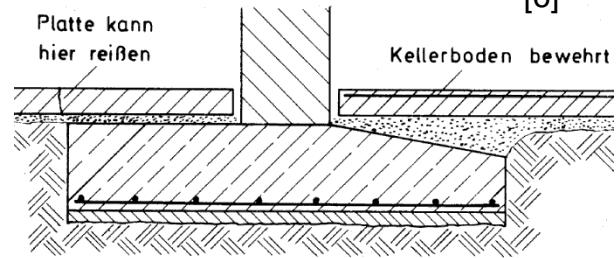
Streifenfundamente



Beispiel:

Ausbildung von Bodenplatten an Streifenfundamenten

[6]

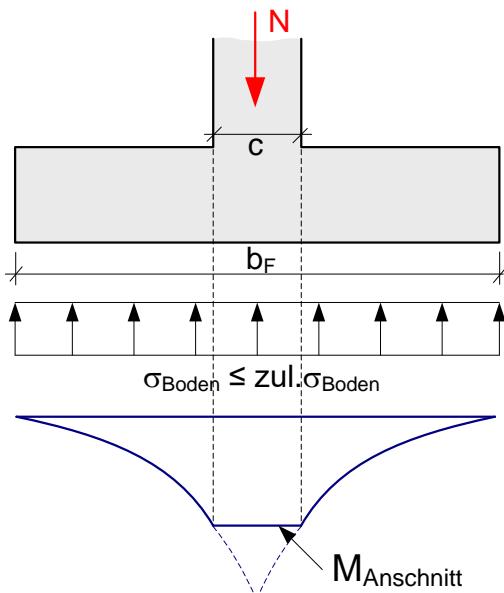


Zentrische Beanspruchung:

Maßgebende Bemessungsmomente:

Anschnittsmoment

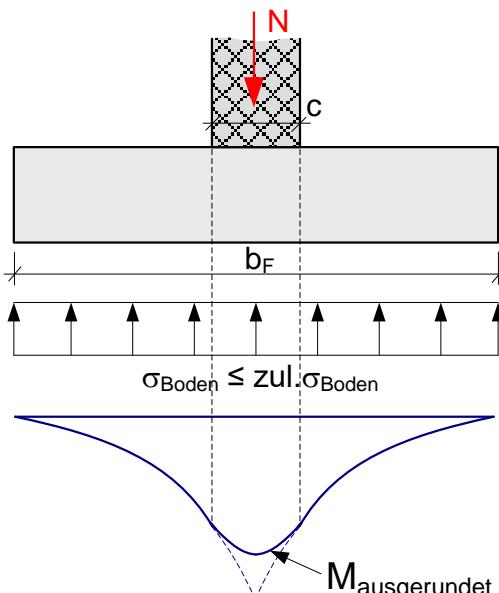
biegesteifer Anschluss



$$M_{\text{Anschnitt}} = N \cdot \frac{b_F}{8} \cdot \left(1 - \frac{c}{b_F}\right)^2$$

Ausgerundetes Moment

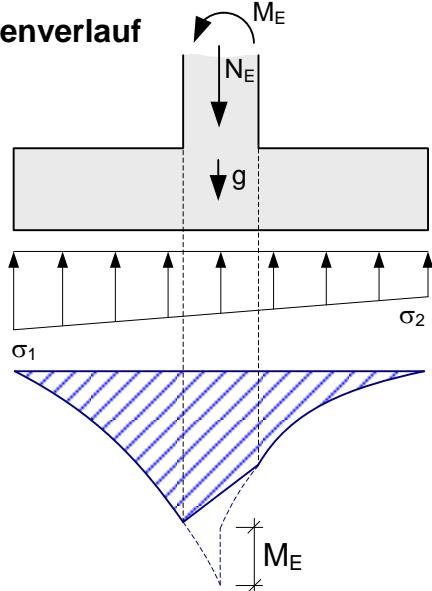
biegeweicher Anschluss (z.B. Mauerwerk)



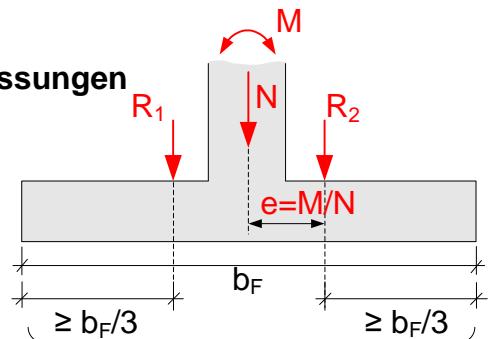
$$M_{\text{ausgerundet}} = N \cdot \frac{b_F}{8} \cdot \left(1 - \frac{c}{b_F}\right)$$

Exzentrische Beanspruchung:

Momentenverlauf



Abmessungen



→ Normalfall für ständige Einwirkung
(Bodenpressungen über gesamt b_F)

$\geq b_F/6$ $\geq b_F/6$

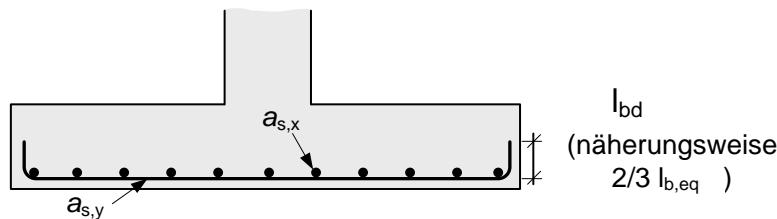
→ Extremfall (klaffende Fuge bis $b_F/2$)

Bewehrung:

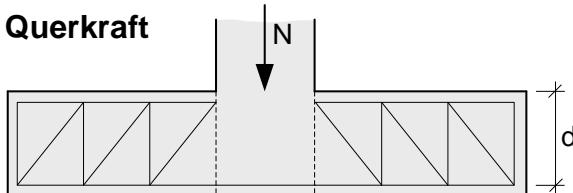
Biegung

Bei Streifenfundamenten meist keine Bewehrungsstaffelung

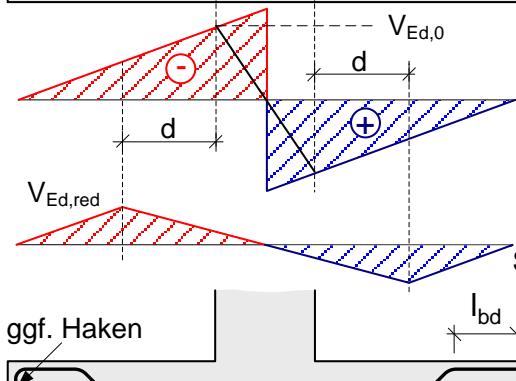
→ Gleichmäßige Verteilung der Bewehrung



Querkraft



I_{bd}
(näherungsweise
 $2/3 I_{b,eq}$)



$V_{Ed,red}$ $V_{Ed,0}$

→ meist keine Schubbewehrung

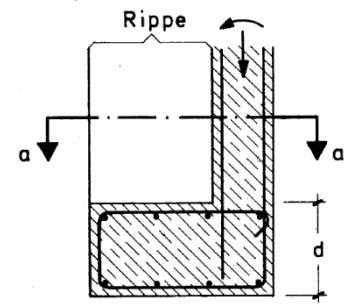
ggf. Haken

wenn doch, dann Aufbiegungen (flache Fundamentstreifen)

Beispiel:

Einseitige Streifenfundamente an Grundstücksgrenzen

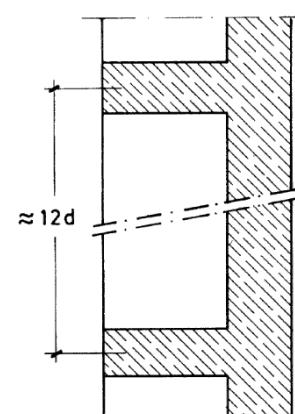
[6]



p_s

gut ausgesteift

Schnitt a—a



Alternativ:

„Zentrieren“ über eine angeschlossene Bodenplatte

Einzelfundamente

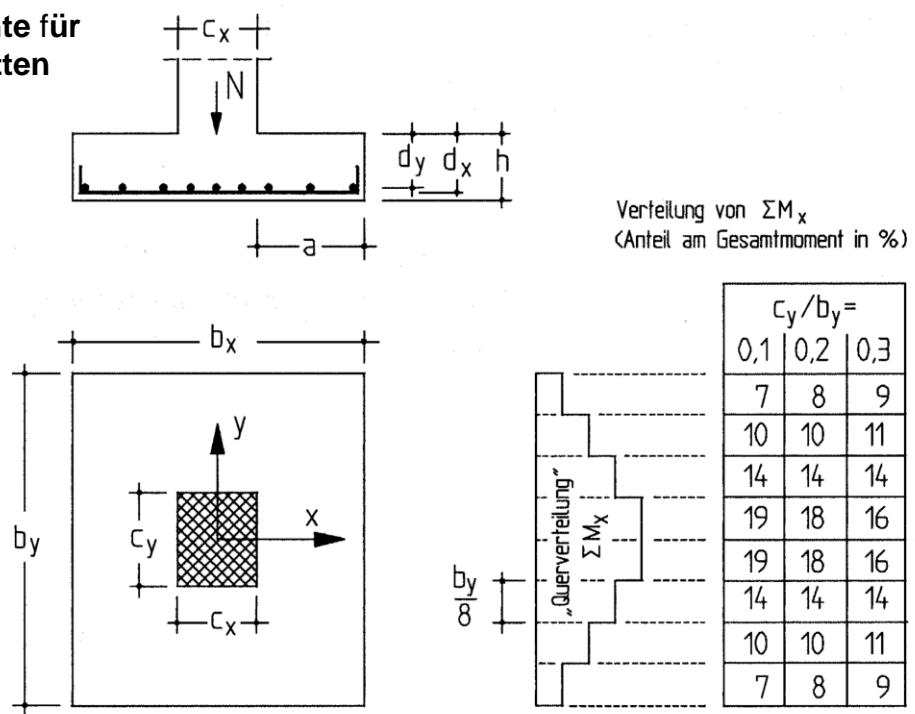
Anhaltswerte für die Form der Grundfläche von Einzelfundamenten:

- $b \leq 6m \Rightarrow$ quadratisches Fundament
- $6m < b \leq 12m \Rightarrow$ 8-Eck Fundament (durch Aussparung der Ecken)
- $12m < b \Rightarrow$ kreisförmiges Fundament (n-Eck)

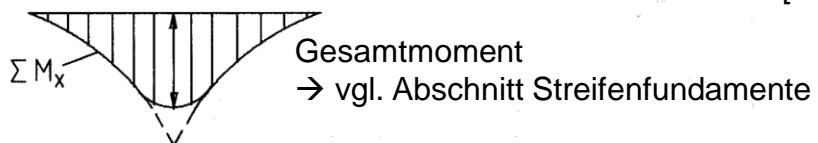
Biegemomente in Einzelfundamenten

[18]

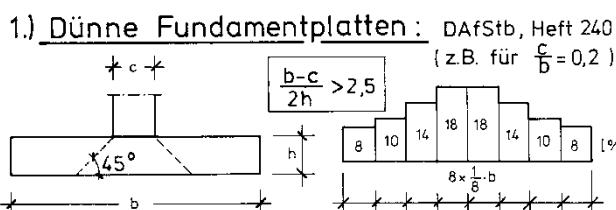
Verteilung der Momente für dünne Fundamentplatten



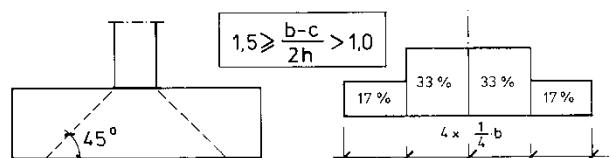
[24]



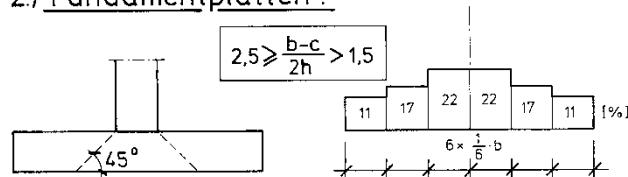
Verteilung der Momente in Abhängigkeit von der Plattenschlankheit



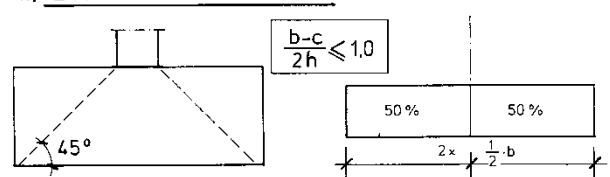
3.) Fundamente üblicher Dicke :



2.) Fundamentplatten :



4.) Dicke Fundamente :

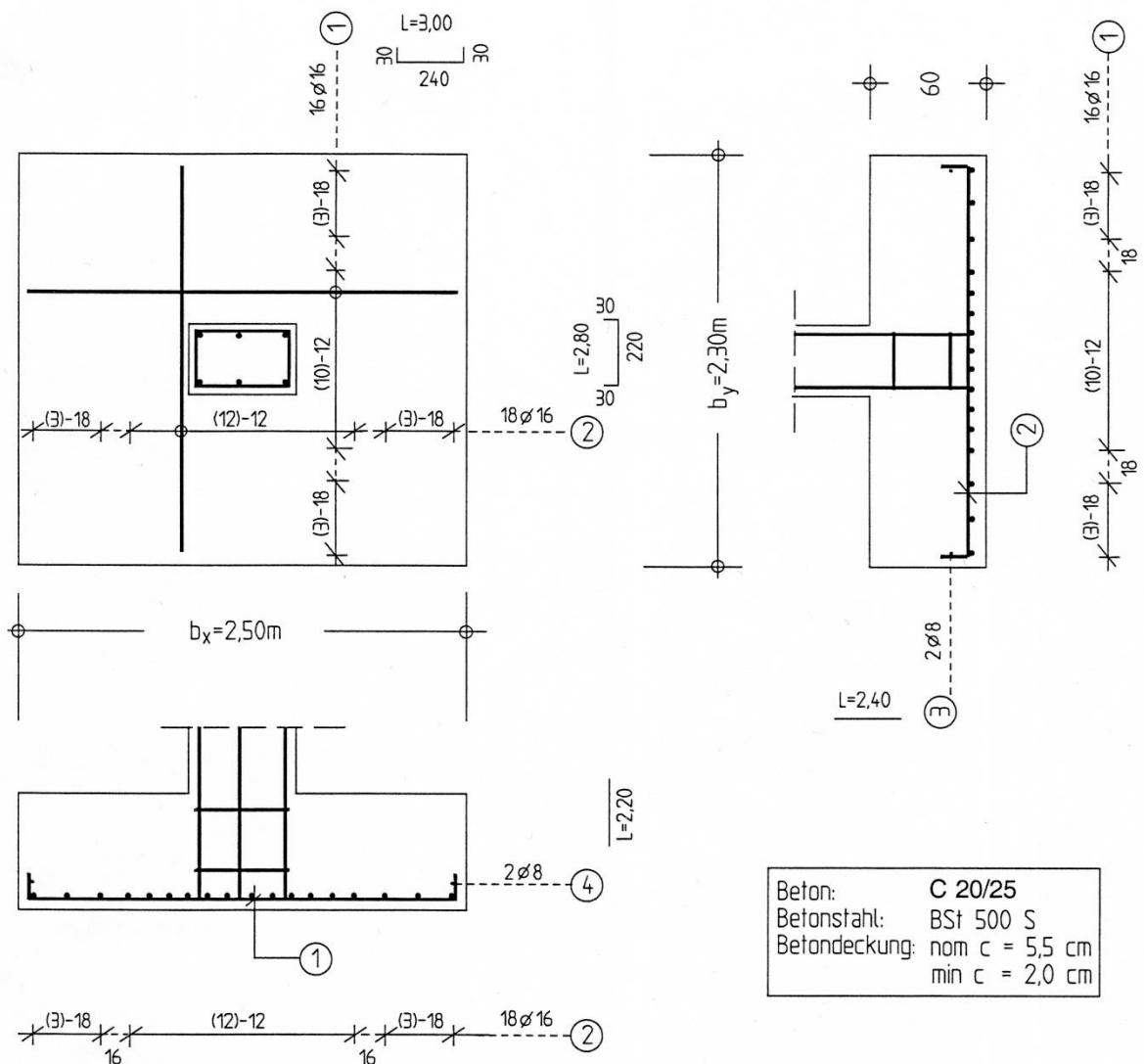


Bei **gedrungenen Fundamenten** ($c/b > 0,3$, $h/a > 1,0$) darf das Gesamtmoment gleichmäßig über die Breite verteilt werden.

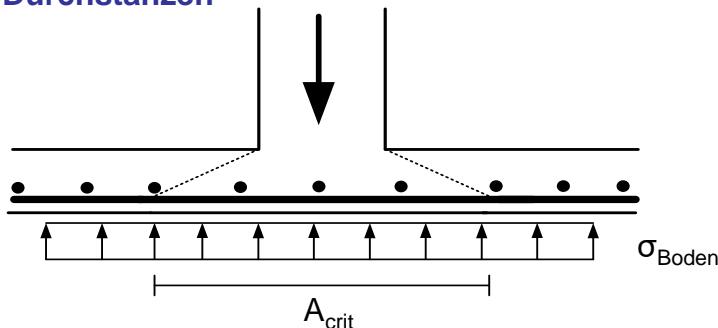
→ Ermittlung der Biegebewehrung: $A_s = M / (z \cdot f_y)$

Die Biegebewehrung sollte wegen der hohen Verbundspannungen ohne Abstufung bis zum Rand geführt und dort verankert (z.B. mit Haken) werden.

Beispiel für die Verteilung der Biegebewehrung



Durchstanzen



Bei Fundamenten darf die Querkraft V_{Ed} um 50% der günstigen Wirkung des Sohldrucks in der kritischen Fläche reduziert werden.

$$V_{Ed,red} = V_{Ed} - \Delta V_{Ed}$$

Der Nachweis gegen Durchstanzen ohne Durchstanzbewehrung ist erfüllt, wenn im **kritischen** Rundschnitt gilt:

$$\nu_{Rd,c} \geq \nu_{Ed} = \beta \cdot V_{Ed,red} / u$$

mit u kritischer Umfang im Abstand a_{crit} vom Stützenrand

a_{crit} gilt in Abhängigkeit von der Fundamentschlankheit $\lambda_f = a_\lambda / d$

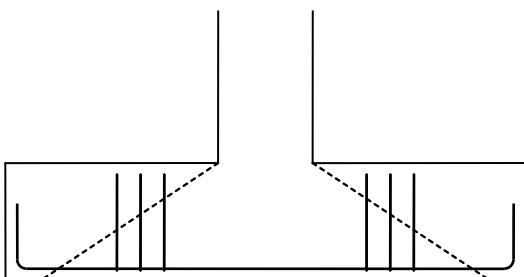
mit $\lambda_f > 2 : a_{crit} = 1,0d$

$\lambda_f \leq 2 : a_{crit}$ iterativ im Bereich $\leq 2d$ bestimmen

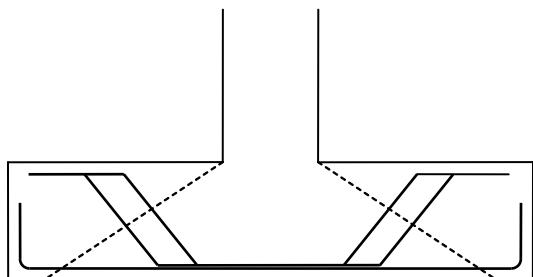
Ansonsten: Durchstanzbewehrung

Anordnung von Durchstanzbewehrung in Fundamenten

a) Bügel als Durchstanzbewehrung

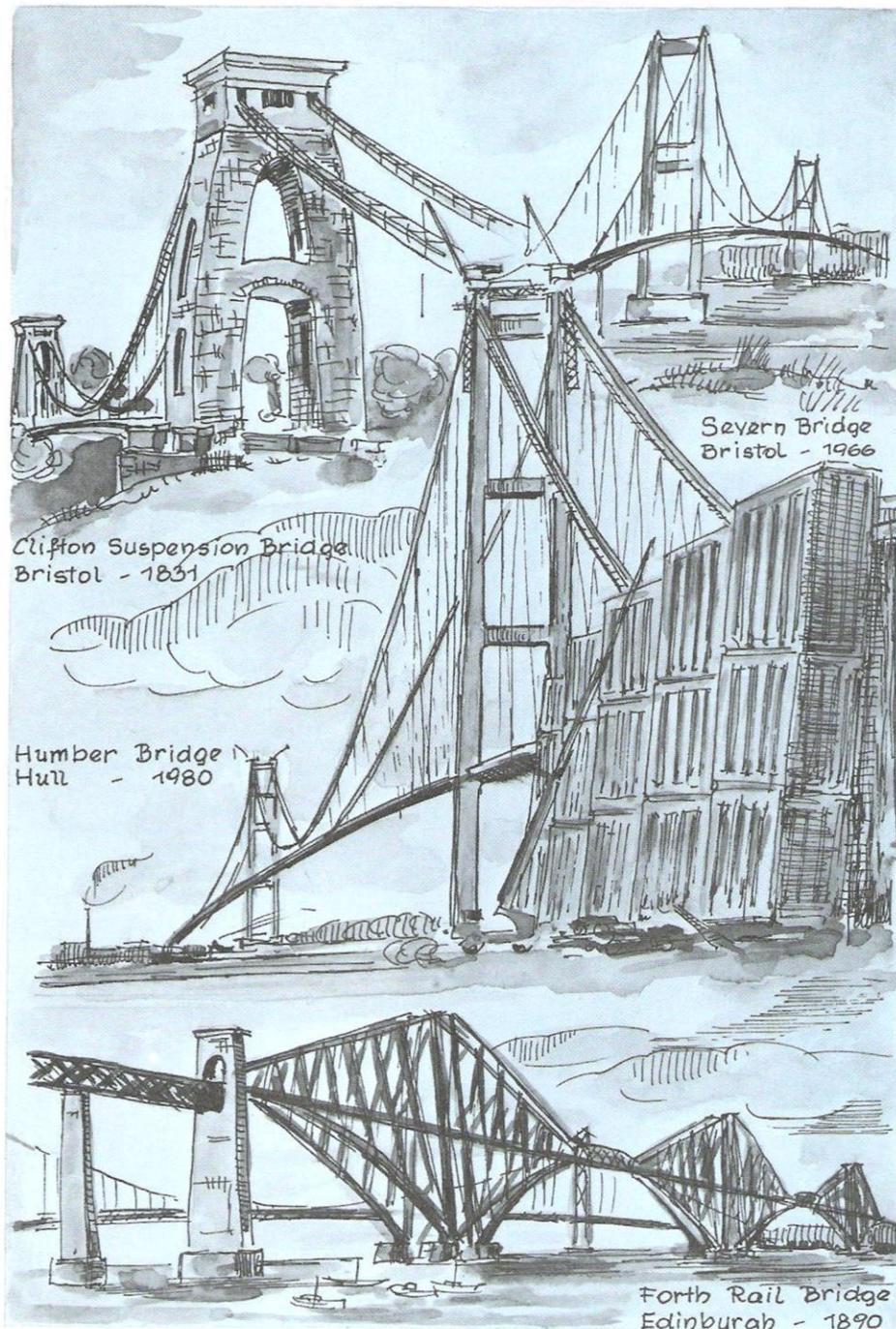


b) Schrägstäbe als Durchstanzbewehrung



→ vgl. Skript Grdl.I: Durchstanzen

(e) Platten



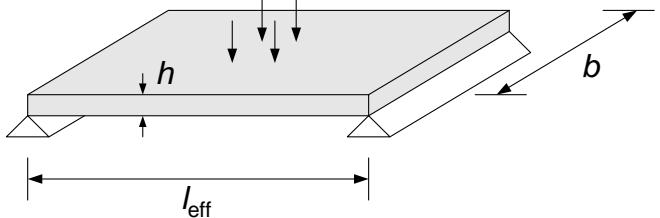
Grundlagen

Definition und Abgrenzungskriterien

- Platten sind Flächenträgerwerke, welche ausschließlich senkrecht zu ihrer ebenen Mittelfläche belastet sind
- Abgrenzungskriterien:

Platten: $b / h \geq 5$ und $I_{\text{eff}} / h \geq 5$

Balken: $b / h < 5$



Praxisbeispiele aus dem Hoch- und Brückenbau

Geschoßdecken in Ortbeton- und Halbfertigteilbauweise im Hochbau



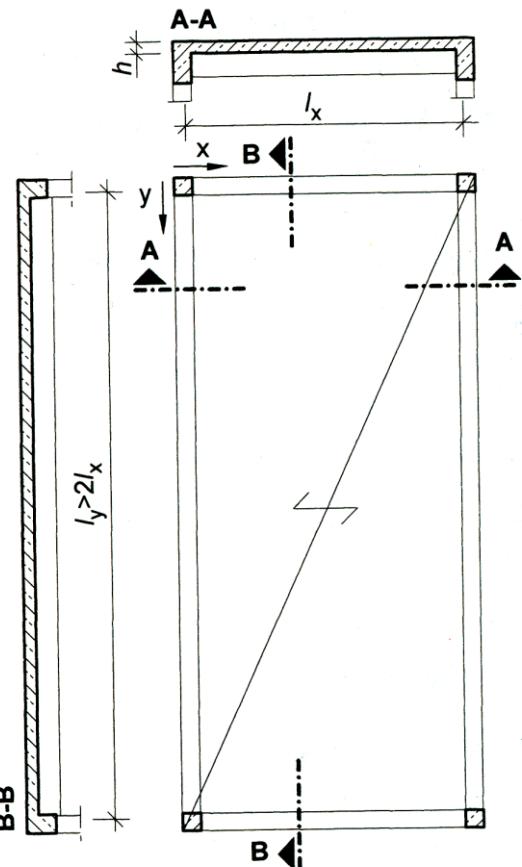
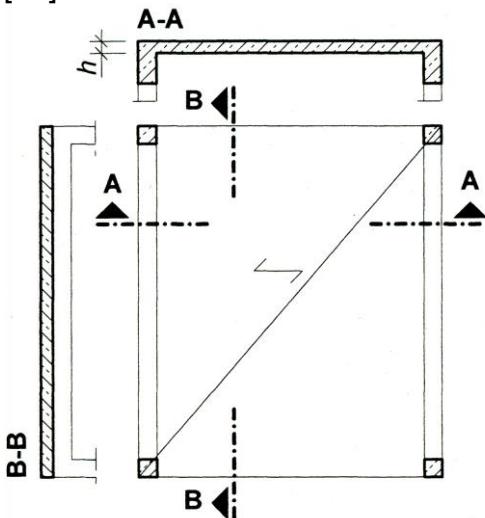
Fahrbahnplatten im Brückenbau



Einteilung von Platten hinsichtlich ihrer Tragwirkung:

Einachsig gespannte Platten (dominierender Lastabtrag in einer Richtung \leftarrow):

[23]



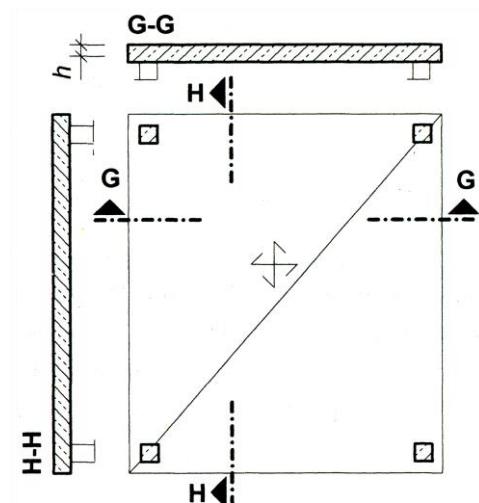
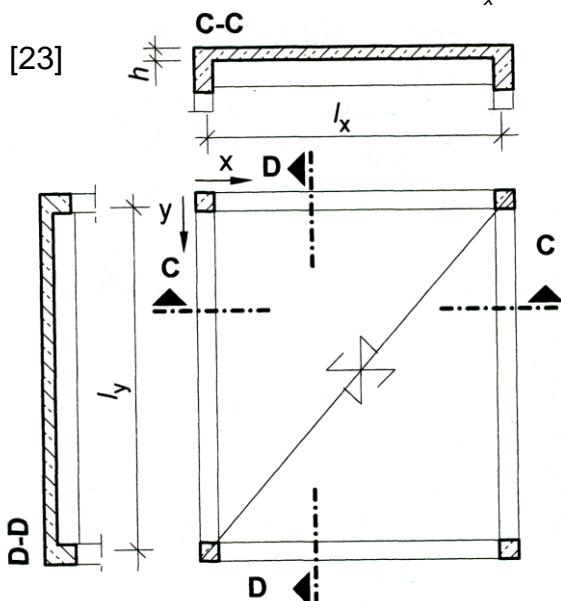
Eine einachsig gespannte Platte liegt vor bei einer kontinuierlichen Stützung an:

- mind. 2 gegenüberliegenden Rändern (oben)
- mind. 3 oder 4 Rändern (rechts)
mit einem Stützweitenverhältnis: $\frac{l_y}{l_x} \geq 2$
(näherungsweise)

Zweiachsig gespannte Platten (Lastabtrag in zwei Richtungen \leftrightarrow):

- kontinuierlich gestützt mit $\frac{l_y}{l_x} < 2$

- punktförmig gestützt

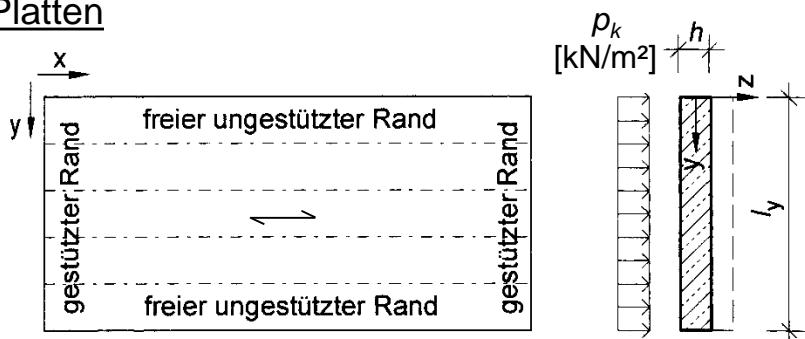


Tragwirkung und Schnittgrößen

• einachsig gespannte Platten

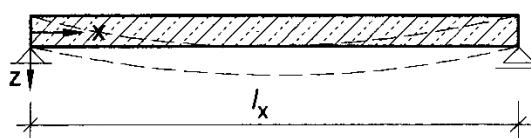
Tragverhalten:

Das Tragverhalten einer einachsig gespannten Platte entspricht im Wesentlichen dem einer Vielzahl frei nebeneinander liegender Balken.



Voraussetzung:

Belastung durch Gleichlast



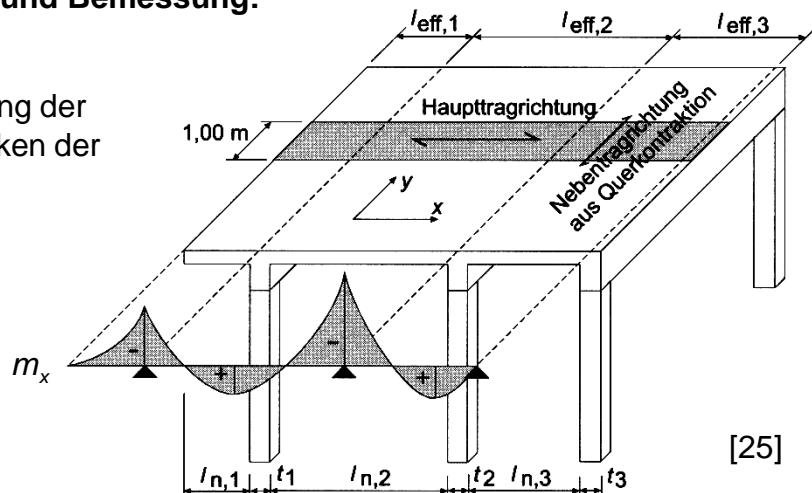
Schnittgrößenermittlung und Bemessung:

in Haupttragrichtung:

Berechnung und Bemessung der Platte wie ein Rechteckbalken der Breite $b = 1 \text{ m}$ mit:

$$m_x = \frac{M_{\text{Balken}}}{b} \quad [\text{kNm/m}]$$

$$V_z = \frac{V_{\text{Balken}}}{b} \quad [\text{kN/m}]$$



Einheiten der erforderlichen Bewehrung:

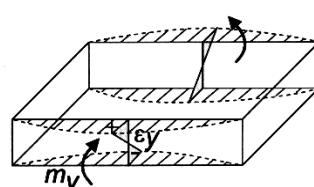
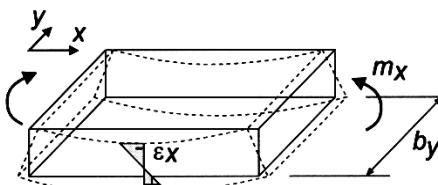
- infolge Biegung: erf a_s [cm^2/m] Flächenbewehrung (üblicherweise Betonstahlmatte)

- infolge Querkraft: erf $a_{s,V}$ [cm^2/m^2] Bügel oder Aufbiegungen

in Nebentragrichtung:

Aufgrund einer Behinderung der Querdehnung bei Platten treten trotz einachsiger Tragwirkung zusätzlich Spannungen und Biegemomente in Querrichtung (y) auf.

$$\sigma_y = \mu \cdot \sigma_x \rightarrow m_y = \mu \cdot m_x \quad \text{mit: Querdehnzahl } \mu \approx 0,2 \text{ (für Beton)}$$



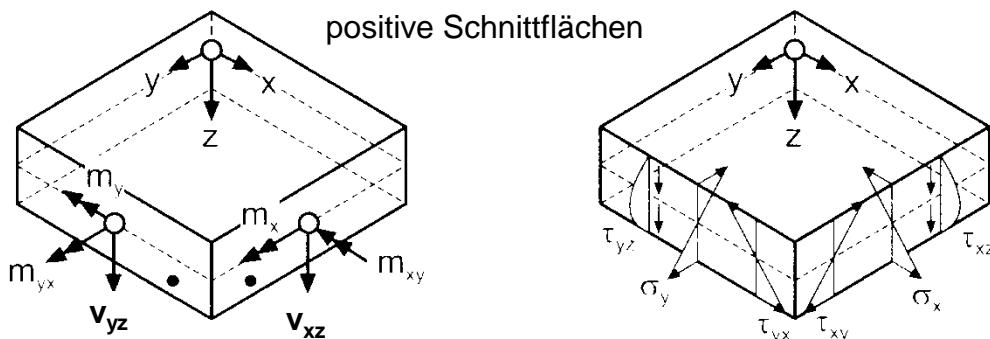
Berücksichtigung durch konstruktive Querbewehrung !!

- zweiachsige gespannte Platten

- Plattentheorie nach Kirchhoff (Grundlagen)**

- Annahmen:**
- Plattendicke konstant und klein gegenüber ihrer Stützweite
 - Belastung senkrecht zur Ebene
 - Materialverhalten elastisch (homogener Baustoff, Zustand I)

Spannungen und Schnittgrößen am Plattenelement



Das Gleichgewicht am Plattenelement liefert: $\frac{\partial^2 m_x}{\partial x^2} + 2 \frac{\partial^2 m_{xy}}{\partial x \partial y} + \frac{\partial^2 m_y}{\partial y^2} = -q(x, y)$ (Flächenlast)

- Biegemomente m_x und m_y :

In Platten werden die Biegemomente nach der Richtung bezeichnet, aus deren Längsspannungen sie resultieren.

$$m_x = \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_x z dz = -D \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \mu \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right)$$

$$m_y = \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_y z dz = -D \left(\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \mu \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right)$$

Plattensteifigkeit:

$$D = \frac{Eh^3}{12(1-\mu^2)}$$

- Drillmomente m_{xy} : $m_{xy} = \int_{-h/2}^{h/2} \tau_{xy} z dz = -D \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} (1-\mu)$

Allgemeine Differentialgleichung

$$\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \cdot \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = \frac{q(x, y)}{D} \text{ (Plattensteifigkeit)}$$

↑ ↑ ↑

Balken in x-Richtung Balken in y-Richtung

Drillwirkung

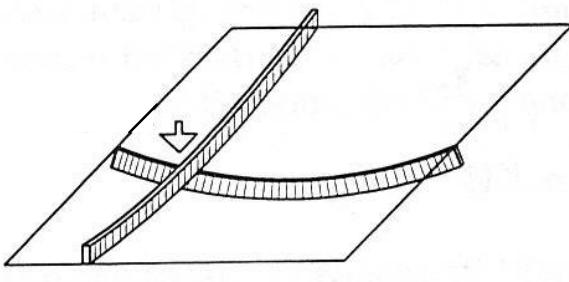
Modellvorstellung:

- Platte als Scharen nebeneinander liegender Balken in x- und y-Richtung
- zweiter Summand der DGL beschreibt die Verwindung der Streifen (Drillwirkung)

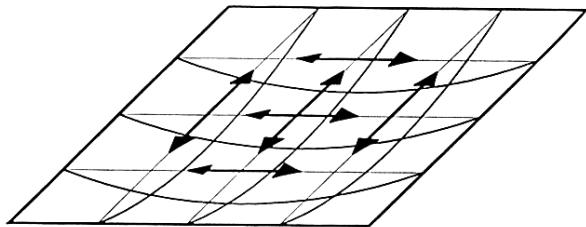
- Tragwirkung von drillweichen und drillsteifen Platten

drillweiche Platte

drillfreie Abstützung
orthogonaler Plattenstreifen

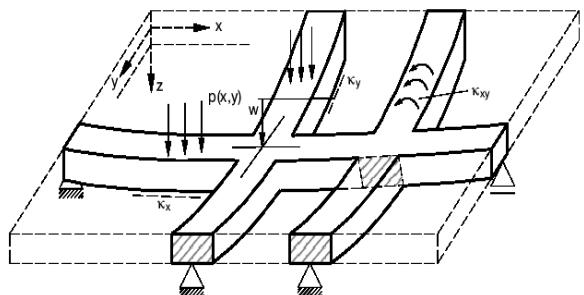


Lastabtrag ohne
Wirkung von Drillmomenten

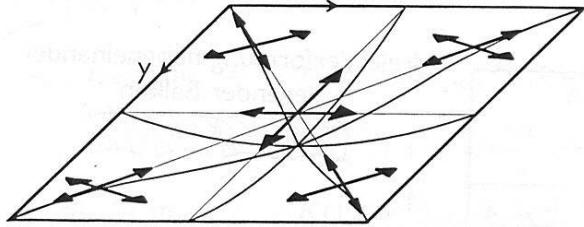


drillsteife Platte

drillsteife Abstützung
orthogonaler Plattenstreifen



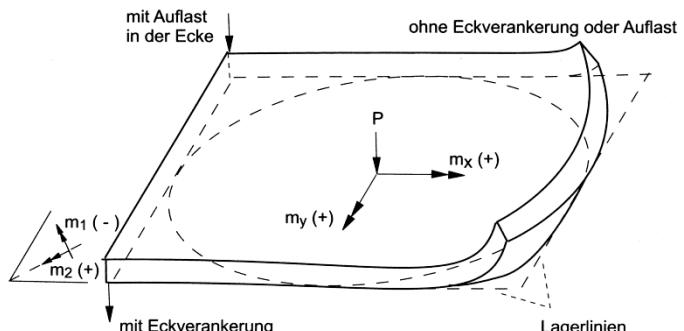
Direkter Lastabtrag in den Plattenecken
über die Wirkung von Drillmomenten



- wegen der kürzeren Lastübertragungswege sind drillsteife Platten gegenüber drillweichen Platten steifere und insgesamt effektivere Tragelemente
- Drillsteifigkeit der Platte darf nur bei einer geeigneten konstruktive Durchbildung angesetzt werden

Verminderte Drillsteifigkeit von Platten im Stahlbetonbau

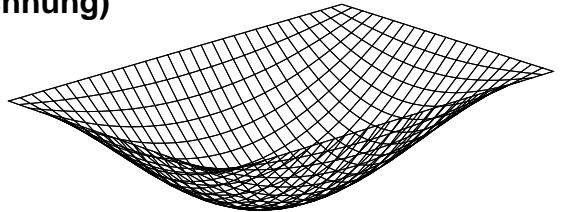
- Eck- und Drillbewehrung nicht ausreichend angeordnet (siehe Abschnitt: Konstruktionsregeln und Bewehrung)
- Ecken sind nicht gegen Abheben gesichert (z.B. durch Auflasten, Zuganker)



- größere Aussparungen in den Eckenbereichen
- Fertigteilplatten mit statisch mitwirkender Ortbetonschicht

- Darstellung der Tragwirkung und Anordnung der Drillbewehrung am Beispiel einer 4-seitig gestützten Platte (FEM-Berechnung)

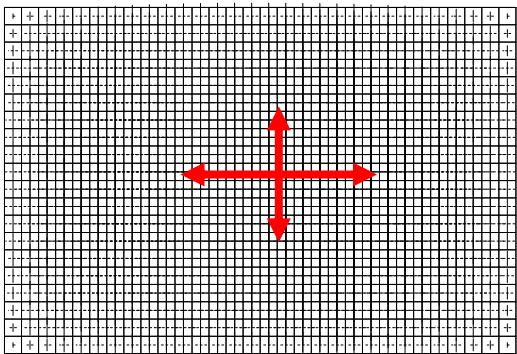
Verformungsbild
(überhöhte Darstellung)



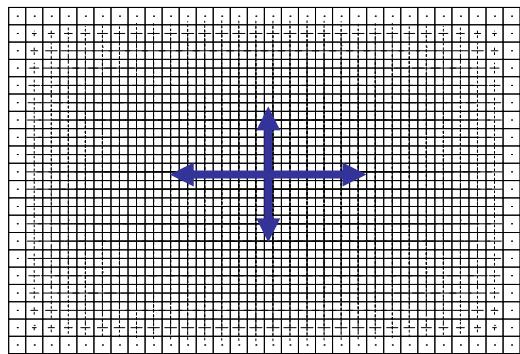
Hauptspannungen (vektoriell)

- drillweich:

Unterseite

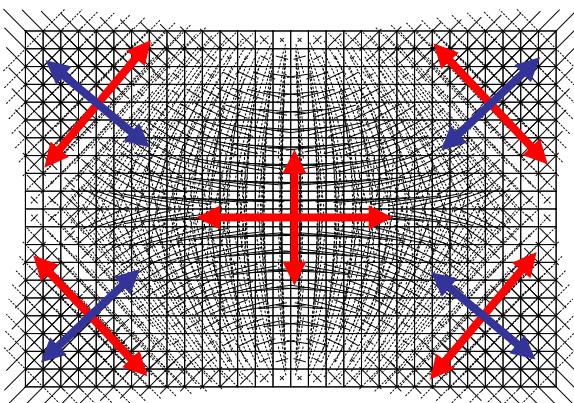


Oberseite

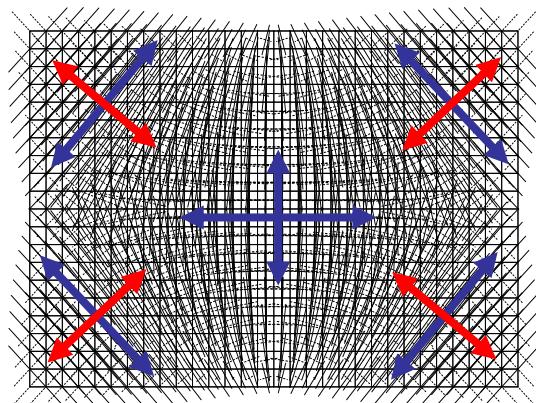


- drillsteif :

Unterseite

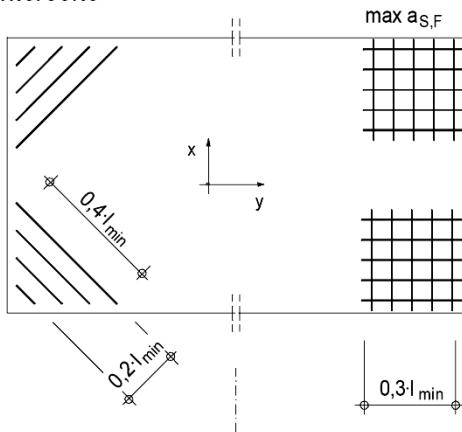


Oberseite

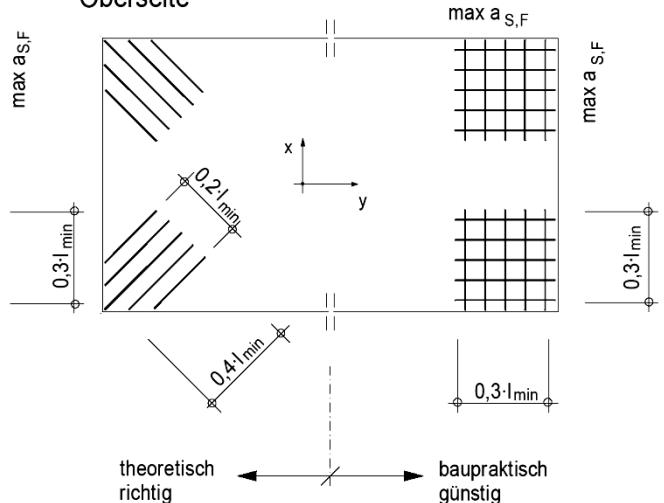


Theoretische und baupraktische Anordnung der Drillbewehrung [27]

Unterseite



Oberseite



theoretisch richtig baupraktisch günstig

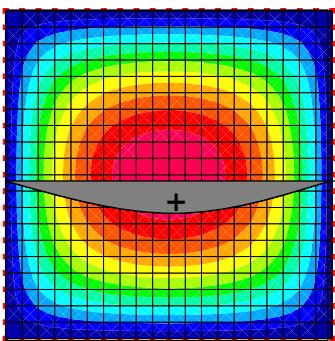
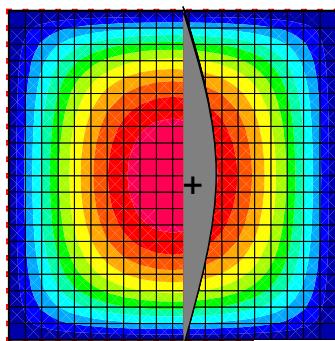
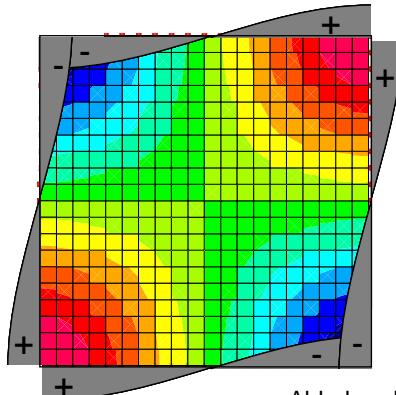
theoretisch richtig baupraktisch günstig

- Schnittgrößenermittlung

Berechnungsmethoden:

- Berechnung mit der Finite-Elemente-Methode:
 - in der Praxis wird aufgrund unregelmäßiger Plattengeometrien der überwiegende Anteil von Platten mit Hilfe der FE-Methode berechnet

Beispiel: 4-seitig gelenkig gelagerte Quadratplatte (drillsteif)


 m_x

 m_y


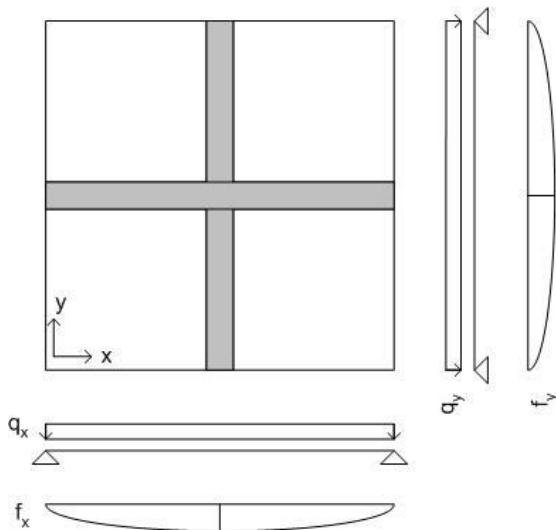
Abhebende
Lagerkraft Ecke
 $A = 2 \cdot m_{xy}$

- vereinfachte Verfahren als Gleichgewichtslösungen:
 - Randbedingungen und zulässige Spannungen werden erfüllt
 - Allg. DGL wird jedoch nicht gelöst
 - Beispiel: Streifenkreuzverfahren nach MARCUS für drillweiche Platten

- Tabellenwerke

- Basis: Lösung der allgemeinen Platten-DGL
- Lösungen beschränken sich weitgehend auf Einfeldplatten
- Tabellenwerke :
 - Czerny-Tafeln für Rechteckplatten (BK 1996, Teil I)
 - Tabellen nach Pieper/Martens (Mehrfeldplatten)

Streifenkreuzverfahren nach MARCUS für drillweiche Platten



- Berechnungsansatz:
 - streifenförmige Abschnitte der Platte werden wie Einzelbalken (mit Lastanteilen q_x bzw. q_y) behandelt

- Randbedingung:
 - Plattenstreifen haben im Kreuzungspunkt dieselbe Durchbiegung f

- Anwendungsgrenze:
 - nur sinnvoll für $2/3 \leq l_x/l_y \leq 3/2$

Lastanteile für verschiedene Lagerungsbedingungen

Lagerung	Lastanteile	
1. Fall	$p_x = \frac{l_y^4}{l_y^4 + l_x^4} \cdot p$	$p_y = \frac{l_x^4}{l_y^4 + l_x^4} \cdot p$
2. Fall	$p_x \cong \frac{5 \cdot l_y^4}{5 \cdot l_y^4 + 2 \cdot l_x^4} \cdot p$	$p_y \cong \frac{2 \cdot l_x^4}{5 \cdot l_y^4 + 2 \cdot l_x^4} \cdot p$
3. Fall	$p_x = \frac{5 \cdot l_y^4}{5 \cdot l_y^4 + l_x^4} \cdot p$	$p_y = \frac{l_x^4}{5 \cdot l_y^4 + l_x^4} \cdot p$
4. Fall	$p_x = \frac{l_y^4}{l_y^4 + l_x^4} \cdot p$	$p_y = \frac{l_x^4}{l_y^4 + l_x^4} \cdot p$
5. Fall	$p_x \cong \frac{l_y^4}{l_y^4 + \frac{1}{2} \cdot l_x^4} \cdot p$	$p_y \cong \frac{\frac{1}{2} \cdot l_x^4}{l_y^4 + \frac{1}{2} \cdot l_x^4} \cdot p$
6. Fall	$p_x = \frac{l_y^4}{l_y^4 + l_x^4} \cdot p$	$p_y = \frac{l_x^4}{l_y^4 + l_x^4} \cdot p$

▪ Herleitung am Beispiel (1. Fall):

- Durchbiegung der Mittelstreifen

$$f_x = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_x \cdot l_x^4}{EI} \quad f_y = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_y \cdot l_y^4}{EI}$$

- Verträglichkeitsbedingung

$$f_y = f_x \longrightarrow q_x \cdot l_x^4 = q_y \cdot l_y^4$$

mit: $q = q_x + q_y$

$$\longrightarrow q_x = q_y = q \cdot \frac{l_y^4}{l_x^4 + l_y^4}$$

Bemessungstafeln nach Czerny für drillsteife Rechteckplatten

- umfassendes Tafelwerk für 3- und 4 seitige gestützte Platten

- Schnittgrößenermittlung für eine Querdehnzahl $\mu = 0$

- Eingangswerte:

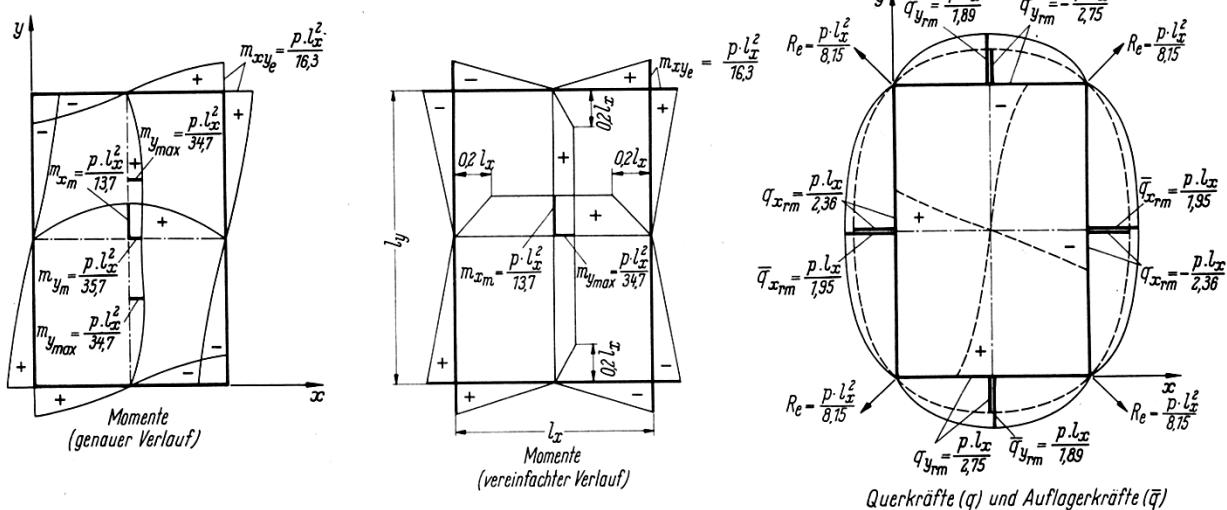
▪ Stützweitenverhältnis: $\frac{l_y}{l_x}$ mit: $l_y \geq l_x$

▪ Art (eingespannt / gelenkig / frei) und Anzahl der gestützten Ränder
 → zugehörige Tafel verwenden

Beispieltafel:

4-seitig gestützte Platte : Einspannungsfreie Lagerung der 4 Ränder

Schnittgrößen für ein Stützweitenverhältnis $l_y / l_x = 1,5$



Ermittlung der Schnittgrößen für beliebige Stützweitenverhältnisse:

$l_y : l_x$	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25	1,30	1,35	1,40	1,45	1,50
$m_{x_m} =$	27,2	24,5	22,4	20,7	19,1	17,8	16,8	15,8	15,0	14,3	13,7
$m_{y_{max}} =$	$p \cdot l_x^2 :$	27,2	27,5	27,9	28,4	29,1	29,9	30,9	31,8	32,8	33,8
$m_{x_{ve}} = \pm$	21,6	20,6	19,7	19,0	18,4	17,9	17,5	17,1	16,8	16,5	16,3
$R_e =$	10,8	10,3	9,85	9,5	9,2	8,95	8,75	8,55	8,4	8,25	8,15
$q_{z_{rm}} = \pm$	2,96	2,87	2,78	2,71	2,64	2,58	2,52	2,47	2,43	2,39	2,36
$\bar{q}_{z_{rm}} =$	$p \cdot l_x :$	2,19	2,15	2,11	2,07	2,04	2,02	2,00	1,98	1,97	1,96
$q_{y_{rm}} = \pm$	2,96	2,92	2,89	2,86	2,84	2,82	2,80	2,78	2,76	2,75	2,75
$\bar{q}_{y_{rm}} =$	$p \cdot l_x :$	2,19	2,14	2,09	2,05	2,02	1,99	1,96	1,94	1,92	1,90
$f_m =$	$\frac{p \cdot l_x^4}{E \cdot d^3} .$	0,0487	0,0536	0,0584	0,0631	0,0678	0,0728	0,0767	0,0809	0,0850	0,0890
											0,0927

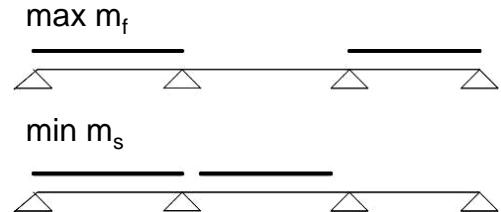
$l_y : l_x$	1,50	1,55	1,60	1,65	1,70	1,75	1,80	1,85	1,90	1,95	2,00
$m_{x_m} =$	13,7	13,2	12,7	12,3	11,9	11,5	11,3	11,0	10,8	10,6	10,4
$m_{y_{max}} =$	$p \cdot l_x^2 :$	34,7	35,4	36,1	36,7	37,3	37,9	38,5	38,9	39,4	39,8
$m_{x_{ve}} = \pm$	16,3	16,1	15,9	15,7	15,6	15,5	15,4	15,3	15,3	15,2	15,1
$R_e =$	8,15	8,05	7,95	7,85	7,8	7,75	7,7	7,65	7,65	7,6	7,55
$q_{z_{rm}} = \pm$	2,36	2,33	2,30	2,27	2,25	2,23	2,21	2,19	2,18	2,16	2,15
$\bar{q}_{z_{rm}} =$	$p \cdot l_x :$	1,95	1,94	1,93	1,92	1,92	1,92	1,92	1,92	1,92	1,92
$q_{y_{rm}} = \pm$	$p \cdot l_x :$	2,75	2,74	2,73	2,73	2,73	2,72	2,72	2,71	2,71	2,70
$\bar{q}_{y_{rm}} =$	$p \cdot l_x :$	1,89	1,88	1,87	1,86	1,85	1,84	1,83	1,82	1,82	1,82
$f_m =$	$\frac{p \cdot l_x^4}{E \cdot d^3} .$	0,0927	0,0963	0,0997	0,1029	0,1060	0,1093	0,1118	0,1145	0,1169	0,1195
											0,1215

Schnittgrößenermittlung bei durchlaufenden Plattensystemen (Mehrfeldplatten)

- Praxisüblich: Anwendung von EDV-Programmen (FE-Methode)

→ Anordnung der Verkehrslasten zur Extremierung der Schnittgrößen beachten!

- analog zu Durchlaufträgern (rechts) sind max. Feldmomente und min. Stützmomente für unterschiedliche Laststellungen zu ermitteln

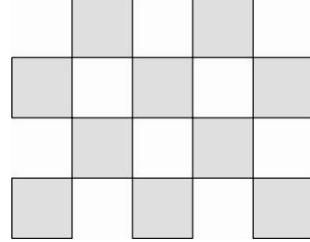


- Regeln für durchlaufende Platten:

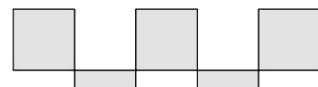
maximales Feldmoment:



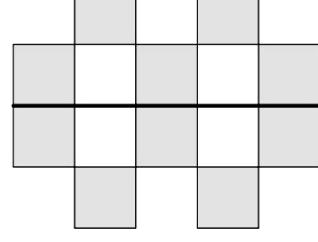
schachbrettartige Lastanordnung



minimales Stützmoment:



angrenzende Felder belastet



- Näherungsverfahren („Hand-Rechnung“): Einspanngradverfahren nach Pieper/Martens

Annahmen

a) bei Ermittlung der Stützmomente:

- starre Einspannung an dem jeweils betrachteten Rand
- Mittelung der Stützmomente zweier benachbarter Felder
- Mindeststützmoment = 75% des größeren Momentes

b) bei Ermittlung der Feldmomente:

- 50%-ige Einspannung am durchlaufenden Plattenrand
(sichere Abschätzung)

Belastungsgrenzen für Verkehrslast : $q \leq 2 \cdot (g + q) / 3$; $q \leq 2 \cdot g$

Ermittlung der Biegemomente:

Feldmomente :

- volle Drilltragfähigkeit :

$$m_{fx} = (g + q) \cdot \frac{I_x^2}{f_x}$$

$$m_{fy} = (g + q) \cdot \frac{I_y^2}{f_y}$$

- verminderte Drilltragfähigkeit :

$$m_{fx} = (g + q) \cdot \frac{I_x^0}{f_x^0}$$

$$m_{fy} = (g + q) \cdot \frac{I_y^0}{f_y^0}$$

Stützmomente :

$$m_{s0,x} = -(g + q) \cdot \frac{I_x^2}{s_x}$$

$$m_{s0,y} = -(g + q) \cdot \frac{I_y^2}{s_y}$$

Überlagerung:

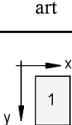
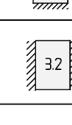
I_1/I_2 = Stützenverhältnis benachbarter Felder

für $I_1/I_2 < 5$:

$$m_s \geq \begin{cases} 0,5 \cdot (m_{s0,1} + m_{s0,2}) \\ 0,75 \cdot \max(|m_{s0,1}|, |m_{s0,2}|) \end{cases}$$

für $I_1/I_2 > 5$:

$$m_s \geq \max(|m_{s0,1}|, |m_{s0,2}|)$$

Stützungsart	Beiwert	Stützenverhältnis I_y/I_x bzw. I_y'/I_x' (I_x bzw. $I_x' = I_{\min}$)										
		1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0
	f_x f_y	27,2 27,2	22,4 27,9	19,1 29,1	16,8 30,9	15,0 32,8	13,7 34,7	12,7 36,1	11,9 37,3	11,3 38,5	10,8 39,4	10,4 40,3
	f_x^0 f_y^0	20,0 20,0	16,6 20,7	14,5 22,1	13,0 24,0	11,9 26,2	11,1 28,3	10,6 30,2	10,2 31,9	9,8 33,4	9,5 34,7	9,3 35,9
	f_x f_y s_y	32,8 29,1 11,9	26,3 29,2 10,9	22,0 29,8 10,1	18,9 30,6	16,7 31,8	15,0 33,5	13,7 34,8	12,8 36,1	12,0 37,3	11,4 38,4	10,9 39,5
	f_x^0 f_y^0	26,4 22,4	21,4 22,8	18,2 23,9	15,9 25,1	14,3 26,7	13,0 28,6	12,1 30,4	11,5 32,0	10,9 33,4	10,4 34,8	10,1 36,2
	f_x f_y s_x	29,1 32,8 11,9	24,6 34,5 10,9	21,5 36,8 10,2	19,2 38,8	17,5 40,9	16,2 42,7	15,2 44,1	14,4 45,3	13,8 46,5	13,3 47,2	12,9 47,9
	f_x^0 f_y^0	22,4 26,4	19,2 28,1	17,2 30,3	15,7 32,7	14,7 35,1	13,9 37,3	13,2 39,1	12,7 40,7	12,3 42,2	12,0 43,3	11,8 44,8
	f_x f_y s_y	38,0 30,6 14,3	30,2 30,3 12,7	24,8 31,0 11,5	21,1 31,0 10,7	18,4 32,2 10,0	16,4 33,8 9,5	14,8 35,9 9,2	13,6 38,3 8,9	12,7 41,1 8,7	12,0 44,9 8,5	11,4 46,3 8,4
	f_x^0 f_y^0	30,6 22,4	26,3 28,1	23,2 30,3	20,9 32,7	19,2 35,1	17,9 37,3	16,9 39,1	16,1 40,7	15,4 42,2	14,9 43,3	12,9 44,8
	f_x f_y s_x	30,6 38,0 14,3	26,3 39,5 13,5	23,2 41,4 13,0	20,9 43,5	19,2 45,6	17,9 47,6	16,9 49,1	16,1 50,3	15,4 51,3	14,9 52,1	14,5 52,9
	f_x^0 f_y^0	22,4 26,4	19,2 28,1	17,2 30,3	15,7 32,7	14,7 35,1	13,9 37,3	13,2 39,1	12,7 40,7	12,3 42,2	12,0 43,3	12,0 44,8
	f_x f_y s_x s_y	33,2 33,2 14,3 14,3	27,3 34,1 12,7 13,6	23,3 35,5 11,5 13,1	20,6 37,7	18,5 39,9	16,9 41,9	15,8 43,5	14,9 44,9	14,2 44,9	13,6 46,2	13,1 47,2
	f_x^0 f_y^0	26,7 26,7	22,1 27,6	19,2 29,2	17,2 31,4	15,7 33,8	14,6 36,2	13,8 38,1	13,2 39,8	12,7 41,4	12,3 42,8	12,0 44,2
	f_x f_y s_x s_y	33,6 37,3 16,2 18,3	28,2 38,7 14,8 17,7	24,4 40,4 13,9 17,5	21,8 42,7 13,2 17,5	19,8 45,1 12,7 17,5	18,3 47,5 12,5 17,5	17,2 49,5 12,3 17,5	16,3 51,4 12,2 17,5	15,6 53,3 12,1 17,5	15,0 55,1 12,0 17,5	14,6 58,9 12,0 17,5
	f_x^0 f_y^0	37,3 33,6 18,3 16,2	30,3 34,1 15,4 14,8	25,3 35,1 13,5 13,9	22,0 37,3 12,2 13,3	19,5 39,8 11,2 13,0	17,7 43,1 10,6 12,7	16,4 46,6 10,1 12,6	15,4 52,3 9,7 12,5	14,6 55,5 9,4 12,4	13,9 60,5 9,0 12,3	13,4 66,1 8,9 11,2
	f_x f_y s_x s_y	36,8 36,8 19,4 19,4	30,2 38,1 17,1 18,4	25,7 40,4 15,5 17,9	22,7 43,5 14,5 17,6	20,4 47,1 13,7 17,5	18,7 50,6 13,2 17,5	17,5 52,8 12,8 17,5	16,5 54,5 12,5 17,5	15,7 56,1 12,3 17,5	15,1 57,3 12,1 17,5	14,7 58,3 12,0 17,5
	f_x^0 f_y^0	36,8 36,8 19,4 19,4	30,2 38,1 17,1 18,4	25,7 40,4 15,5 17,9	22,7 43,5 14,5 17,6	20,4 47,1 13,7 17,5	18,7 50,6 13,2 17,5	17,5 52,8 12,8 17,5	16,5 54,5 12,5 17,5	15,7 56,1 12,3 17,5	15,1 57,3 12,1 17,5	14,7 58,3 12,0 17,5

Hinweise zur Bemessung von Platten

Die Bemessung von Platten (Biege- und Querkraftbemessung) erfolgt mit den ermittelten Schnittgrößen grundsätzlich wie für Balken der Querschnittsbreite $b = 1 \text{ m}$.

- Einheiten der Schnittgrößen:

Biege- und Drillmomente: m_x, m_y, m_{xy} [kNm/m]

Querkräfte: V_{xz}, V_{yz} [kN/m]

- Einheiten der erforderlichen Bewehrung:

infolge Biegung und Längskraft: erf $a_s [\text{cm}^2/\text{m}]$ Flächenbewehrung
(üblicherweise Betonstahlmatten)

infolge Querkraft:: erf $a_{s,V} [\text{cm}^2/\text{m}^2]$ Bügel oder Aufbiegungen

• Biegebemessung einachsiger gespannter Platten

- ausschließlich Bemessung für die Haupttragrichtung erforderlich
- Bewehrung in Querrichtung und Drillbewehrung nach Konstruktionsregeln

• Biegebemessung zweiachsiger gespannter Platten

Berechnung als drillweiche Platte

- Bemessung für die Biegemomente in Haupt- und Nebentragrichtung (m_x und m_y)
- Wahl und Anordnung der Drillbewehrung nach Konstruktionsregeln

Berechnung als drillsteife Platte

- Bemessung für die Biegemomente in Haupt- und Nebentragrichtung (m_x und m_y)
- Drillmomente müssen bei der Biegebemessung rechnerisch nach folgendem Schema berücksichtigt werden:

Ermittlung der resultierenden Bemessungsmomente m_{ud} [25]

Vorbedingung: $m_y > m_x$ (sonst Indizes x und y entsprechend tauschen!)	
$> - m_{xy} $	m_x
$m_{udx} = m_x + m_{xy} $	$m_{udx} = 0$
$m_{udy} = m_y + m_{xy} $	$m_{udy} = m_y + m_{xy}^2 / m_x $
$< m_{xy} $	m_y
$m'_{udx} = -m_x + m_{xy} $	$m'_{udx} = -m_y + m_{xy}^2 / m_y $
$m'_{udy} = -m_y + m_{xy} $	$m'_{udy} = 0$

Momente bewirken Zug auf:
Plattenunterseite

Plattenoberseite

Plattenoberseite

- zusätzlich sind auch bei der Berechnung als drillsteife Platte stets nachfolgende Konstruktionsregeln zu beachten !!

Konstruktionsregeln und Bewehrungsführung

- Mindestdicken von Platten:

Bauteil und Bewehrungsart	h_{min} in cm
allgemein	7
Platten mit aufgebogener Querkraftbewehrung	16
Platten mit Querkraftbewehrung (Bügel) oder Durchstanzbewehrung	20

→ in der Praxis wird die erforderliche Plattendicke h meist aus Begrenzung der Verformung ermittelt (siehe Skript Teil F: Vordimensionierung)

- Biegezugbewehrung:

Längsrichtung (Hauptragrichtung):

- neben ergänzenden Sonderregeln gelten für Platten identische konstruktive Regelungen (Mindest-, Höchstbewehrung, Verankerungslängen) wie für Balken
maximale Stababstände: [2]

Plattendicke	s_{max} in mm
$h \leq 150 \text{ mm}$	150 mm
$150 \text{ mm} < h < 250 \text{ mm}$	$s_{max} = h$
$h \geq 250 \text{ mm}$	250 mm

Zugkraftdeckung:

- Versatzmaß für Platten ohne Querkraftbewehrung: $a_l = 1,0 \cdot d$
- mind. 50% der max. Feldbewehrung sind über das Auflager zu führen
- Staffelung der Biegezugbewehrung ist erlaubt, wird in der Praxis jedoch nur selten ausgeführt
- Hintergrund: - i.d.R. sehr flache Druckstreben und bogenartiges Tragverhalten, also kaum Zugkraftreduzierung bis zum Rand
 - Bewehrungseinsparung gering – Verlegeaufwand steigt
 - geringerer Längsbewehrungsgrad am Auflager erfordert ggf. die Anordnung einer Querkraftbewehrung

Querrichtung (Nebentragrichtung):

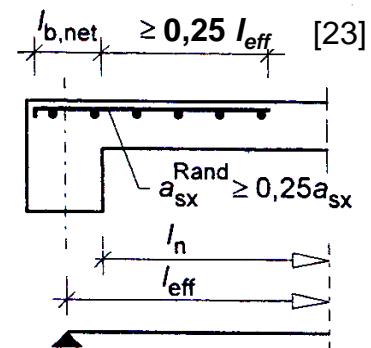
- Mindestquerbewehrung = 20% der Längsbewehrung $a_{sq} \geq 0,20 \cdot a_{sl}$
- maximaler Stababstand in Querrichtung: $s_{max} = 250 \text{ mm}$
- bei der Verwendung von Betonstahlmatten (Lagermatten R...) sind die Konstruktionsregeln in Querrichtung stets eingehalten

- konstruktive Biegezugbewehrung bei rechnerischer Vernachlässigung von Einspannungen und Stützungen

- konstruktive Einspannbewehrung am Endauflager:

Bewehrungsanordnung an der Plattenoberseite zur Abdeckung eines ungewollten Einspannmomentes

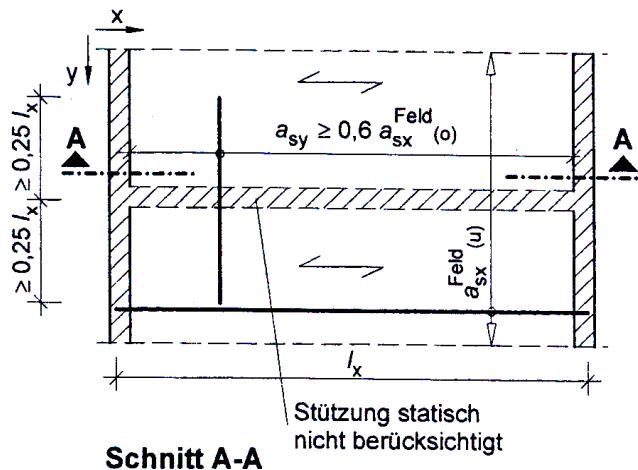
$$a_{sx}^{\text{Rand}} \geq 0,25 \cdot \max a_{sx}^{\text{Feld}}$$



- Vernachlässigung einer parallel zur Spannrichtung verlaufenden Unterstützung:

Eine unbeabsichtigte Unterstützung führt in Querrichtung zu Stützmomenten, welche konstruktiv abgedeckt werden müssen !!

$$a_{sy} \geq 0,6 \cdot a_{sx}^{\text{Feld}} \geq \emptyset 6 - 20$$



- Bewehrung an freien (ungestützten) Rändern:

bügelartige Einfassung der Ränder

(zur Aufnahme von Randlasten sowie Temperatur- und Schwindspannungen)

Steckbügelquerschnitt:

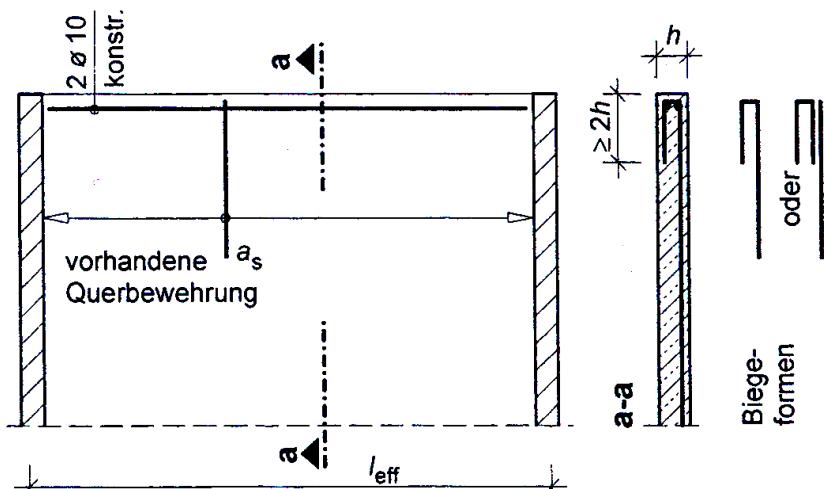
für $h \leq 30 \text{ cm}$:

$$\rightarrow a_{sy} \approx 1,0 \text{ cm}^2/\text{m}$$

für $h \geq 80 \text{ cm}$:

$$\rightarrow a_{sy} \approx 3,0 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Zwischenwerte dürfen interpoliert werden!!!



- Drillbewehrung (Mindestmengen und Anordnung):**

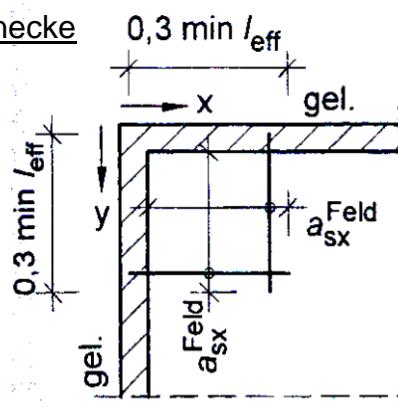
[23]

- Stoß zweier gelenkig gelagerter Ränder in einer Plattencke

→ Drillbewehrung erforderlich

(oben und unten orthogonal verlaufend)

$$a_{sx}^o = a_{sy}^o = a_{sx}^u = a_{sy}^u = 1,0 \cdot \max a_{sx}^{Feld}$$

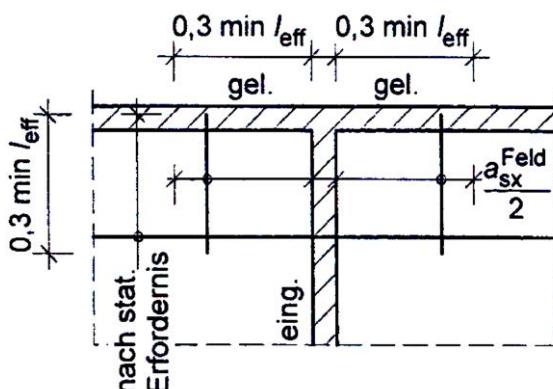


- Stoß eines gelenkig gelagerten und eines eingespannten Randes in einer Ecke

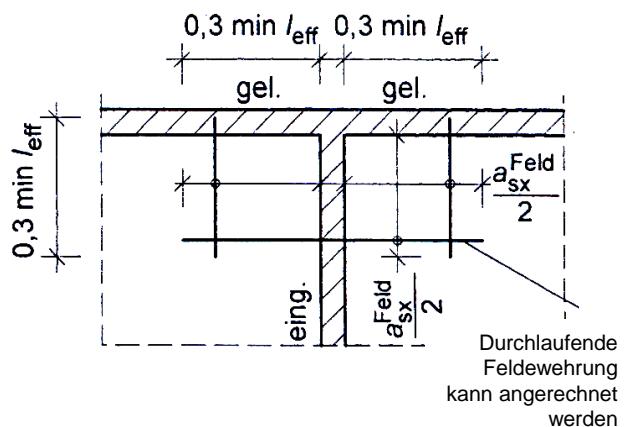
→ Drillbewehrung erforderlich:

$$a_{sy}^o = a_{sy}^u = 0,5 \cdot \max a_{sx}^{Feld}$$

oben



unten



- keine Drillbewehrung nötig, bei:

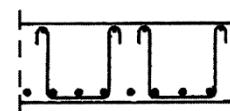
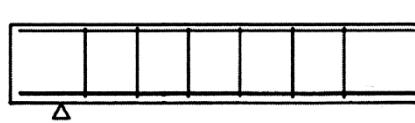
→ monolithischer Verbindung von Decke und Stützung

→ Plattenrändern mit stat. berücksichtigter Einspannung

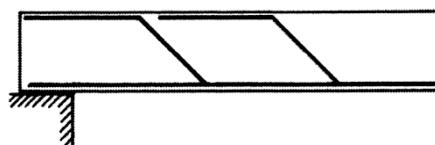
- Querkraftbewehrung**

- Bewehrungsformen bei Platten

Bügelbewehrung



Schrägstäbe
(Aufbiegung der Längsbewehrung)



- Mindestquerkraftbewehrung [1] [2]

- in der Praxis werden Stahlbetonplatten meist so ausgeführt, dass keine Querkraftbewehrung erforderlich ist
- hierbei sind folgende – von Balken abweichende – Anforderungen an die Mindestbewehrung zu beachten:

$$a_{sw} \geq \min \rho_{w,Platte} \cdot b_w \cdot \sin \alpha$$

Verhältnis von Plattenbreite zu -dicke	ohne rechnerisch erforderliche Querkraftbewehrung ($V_{Ed} \leq V_{Rd,c}$)	mit rechnerisch erforderlicher Querkraftbewehrung ($V_{Ed} > V_{Rd,c}$)
$b/h \geq 5$	keine Querkraftbewehrung $\min \rho_{w,Platte} = 0$	$\min \rho_{w,Platte} = 0,6 \cdot \rho_w$
$b/h \leq 4$ (Balken)	$\min \rho_{w,Platte} = 1,0 \cdot \rho_w$	$\min \rho_{w,Platte} = 1,0 \cdot \rho_w$
$5 \geq b/h \geq 4$		Zwischenwerte interpolieren !!

[10]

f_{ck}	12	16	20	25	30	35	40	45	50	55	60	70	80	90	100
$\rho_w (\%)$ i.Allg.	0,51	0,61	0,70	0,83	0,93	1,02	1,12	1,21	1,31	1,34	1,41	1,47	1,54	1,60	1,66

- Durchbildung schubbewehrter Platten

- die Schubbewehrung darf bei $V_{Ed} \leq 1/3 V_{Rd,max}$ vollständig aus Schrägstäben oder Schubzulagen bestehen, sonst gelten Regelungen für Balken
- Bügel müssen mindestens die Hälfte der Biegezugbewehrung erreichen (besser: umfassen) und brauchen die Druckzone nicht zu umschließen
- für den größten Längs- und Querabstand der Bügel und Schrägstäbe gilt nachfolgende Tabelle:

[10]

Schubbeanspruchung	Bügellängsabstand s_{max}	Bügelquerabstand s_{max}	Schrägstäbe (längs)
$0 \leq V_{Ed}/V_{Rd,max} \leq 0,30$	$0,7h$	$1,0h$	
$0,30 < V_{Ed}/V_{Rd,max} \leq 0,60$	$0,5h$	$1,0h$	$1,0h$
$0,60 < V_{Ed}/V_{Rd,max} \leq 1,00$	$0,25h$	$1,0h$	

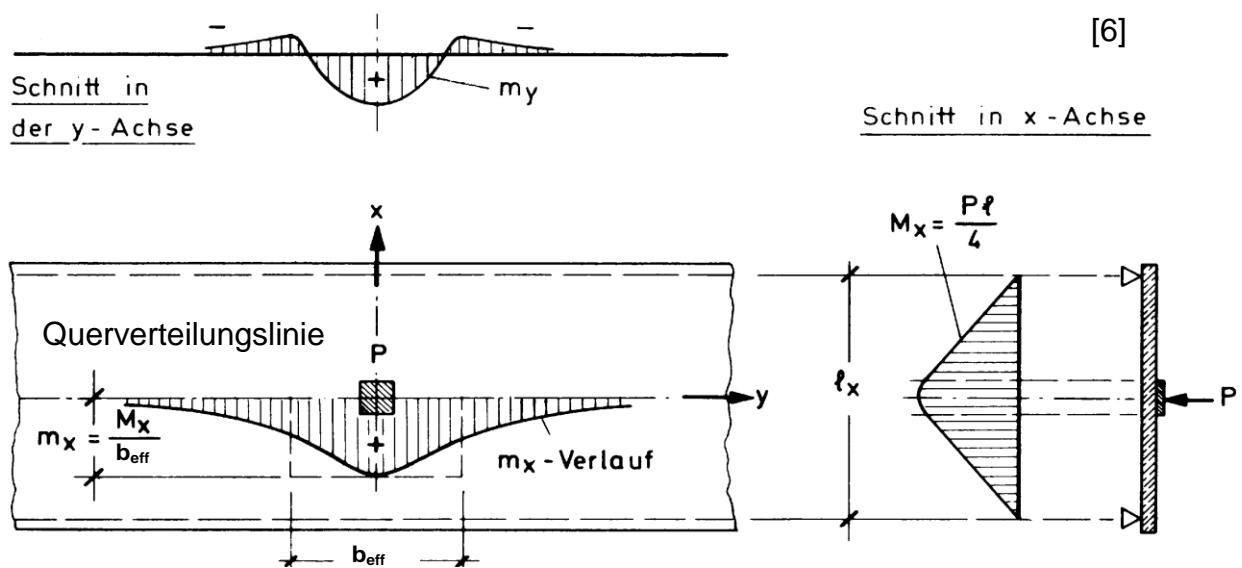
Sonderfälle der Plattenbemessung - Diskontinuitäten -

- Punkt- und Linienlasten
- Platten mit unterbrochener Stützung
- Öffnungen in Platten

• Punkt- und Linienlasten bei einachsig gespannten Platten

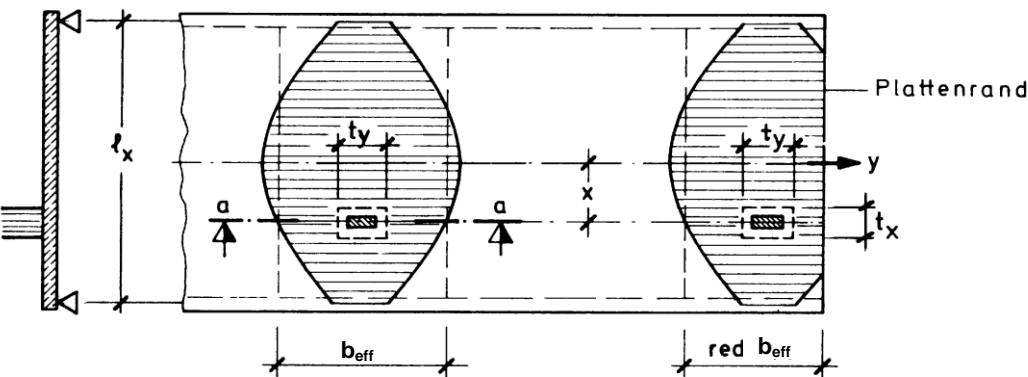
Besonderheit:

Tragwirkung einachsig gespannter Platten ist unter Punkt- und Linienlasten zweiachsig



Idealisierung und Schnittgrößenermittlung

→ Idealisierung als Plattenstreifen mit einer mitwirkenden Ersatzbreite b_{eff} und in Querrichtung konstanter Beanspruchung



→ Ermittlung der Plattschnittgrößen erfolgt aus „Balken“-Schnittgrößen:

Biegemoment:

$$m = \frac{M}{b_{eff, M}} [kNm/m]$$

Querkraft:

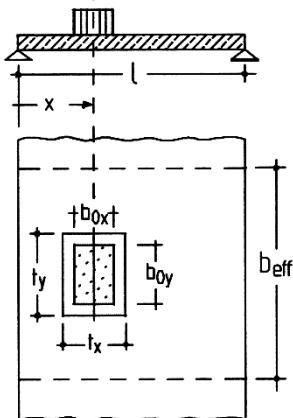
$$V = \frac{V}{b_{eff, V}} [kN/m]$$

- Ermittlung der mitwirkenden Plattenbreite b_{eff}

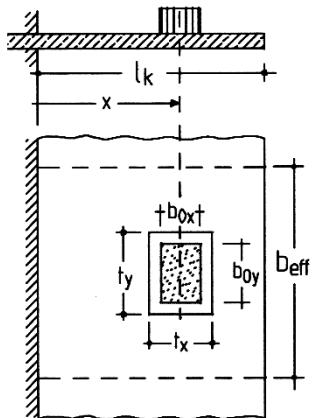
- Einflussgrößen:

- Entfernung x der Last vom Auflager
- Verhältnis x / l von der Entfernung der Last vom Auflager und der Feldlänge
- Lasteintragungsbreite t

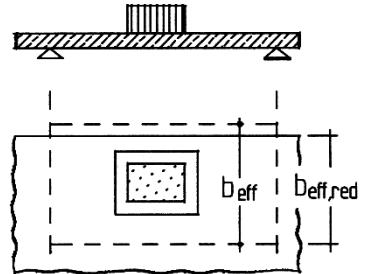
a) Feldmoment



b) Kragmoment



c) Last in Randnähe

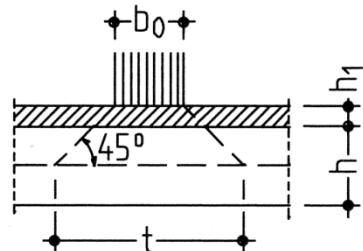


[26]

- Lasteintragungsbreite t :

$$t = b_0 + 2 \cdot h_1 + h$$

mit: b_0 = Lastaufstandsbreite
 h_1 = lastverteilende Deckschicht (z.B. Estrich)
 h = Plattendicke



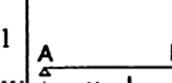
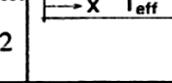
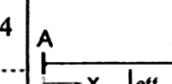
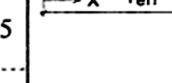
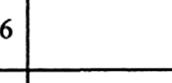
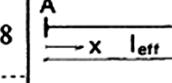
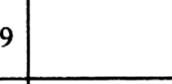
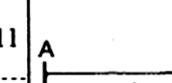
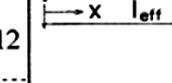
- Mitwirkende Plattenbreite b_{eff} unter Linienlasten

vorhandenes statisches System und Schnittgröße, für die b_{eff} berechnet wird			durchgehende Linienlast ($t_x = l_{eff}$)		
			$\frac{t_y}{l_{eff}} = 0,05$	$\frac{t_y}{l_{eff}} = 0,10$	
1	A	m_F	$b_{eff} = 1,36 l_{eff}$	$b_{eff} = 1,36 l_{eff}$	
2		v_S^A	$b_{eff} = 0,25 l_{eff}$	$b_{eff} = 0,30 l_{eff}$	
3	A	m_F	$b_{eff} = 1,01 l_{eff}$	$b_{eff} = 1,01 l_{eff}$	
4		m_S^A	$b_{eff} = 0,67 l_{eff}$	$b_{eff} = 0,67 l_{eff}$	
5		v_S^A	$b_{eff} = 0,25 l_{eff}$	$b_{eff} = 0,30 l_{eff}$	
6		v_S^B	$b_{eff} = 0,17 l_{eff}$	$b_{eff} = 0,21 l_{eff}$	
7	A	m_F	$b_{eff} = 0,86 l_{eff}$	$b_{eff} = 0,86 l_{eff}$	
8		m_S^A	$b_{eff} = 0,52 l_{eff}$	$b_{eff} = 0,52 l_{eff}$	
9		v_S^A	$b_{eff} = 0,21 l_{eff}$	$b_{eff} = 0,25 l_{eff}$	
10	A	m_S	$b_{eff} = 1,35 l_{eff}$	$b_{eff} = 1,35 l_{eff}$	
11		v_S^A	$b_{eff} = 0,36 l_{eff}$	$b_{eff} = 0,43 l_{eff}$	

[27]

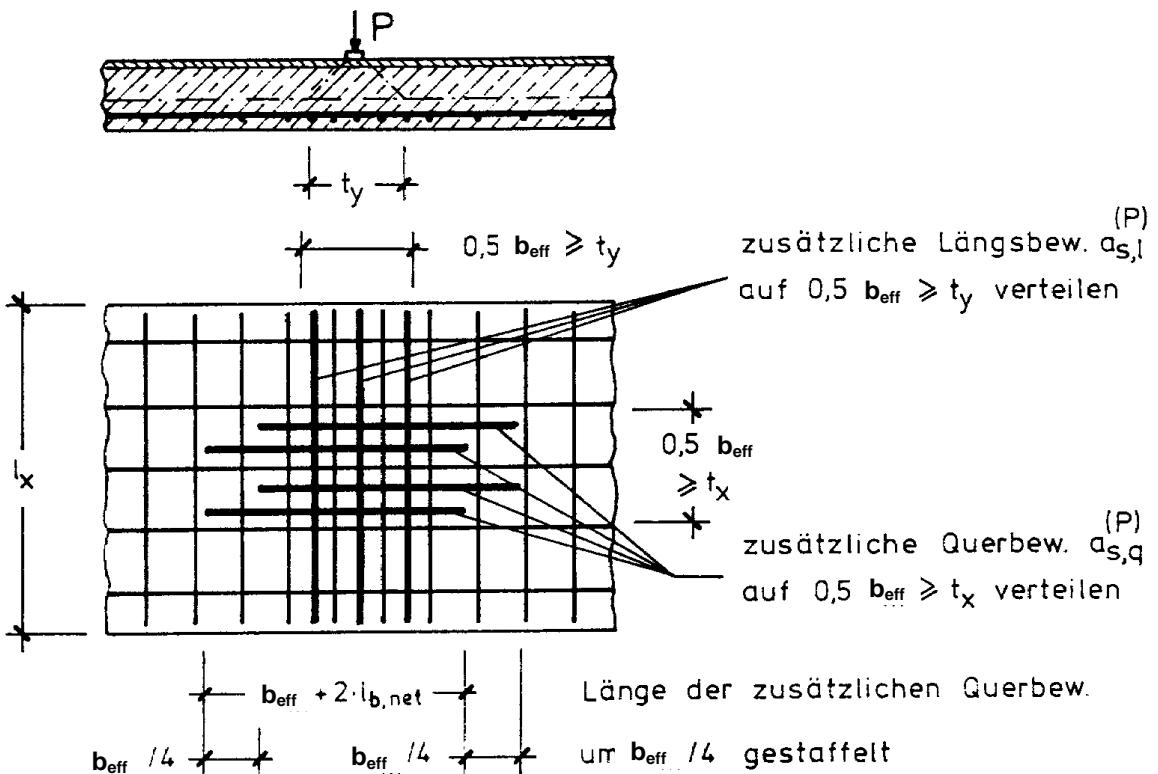
- Mitwirkende Plattenbreite b_{eff} unter Punktlasten

[27]

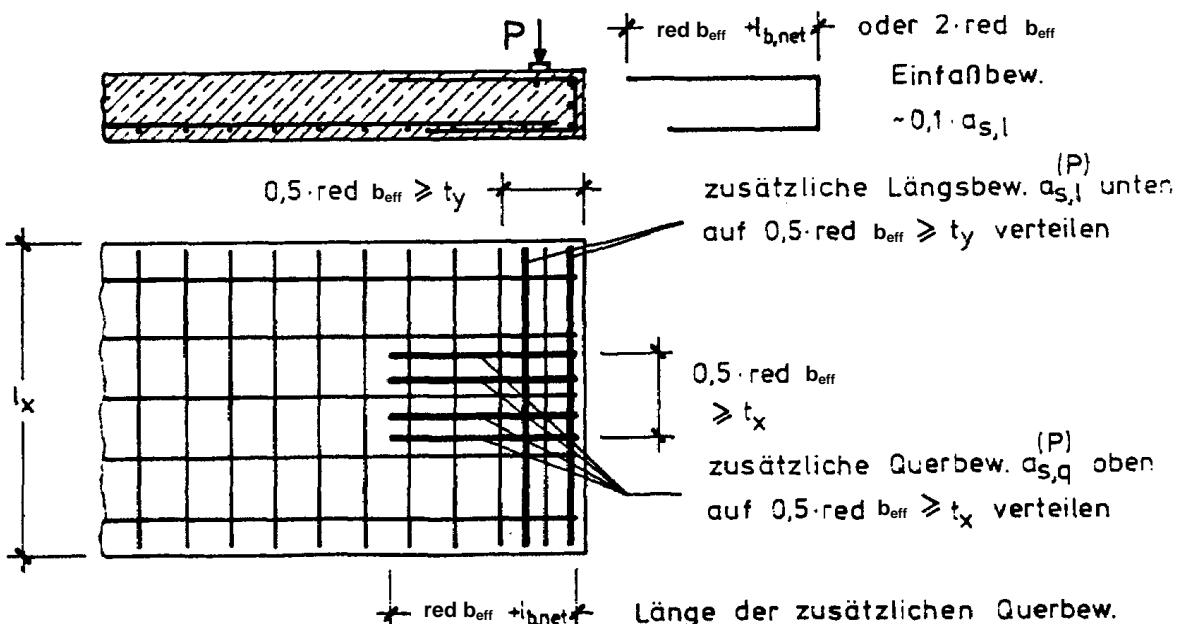
vorhandenes statisches System und Schnittgröße, für die b_{eff} berechnet wird	rechteckförmige Lastgrundrisse für eine Teilflächenlast				
	mitwirkende Lastverteilungsbreite b_{eff}	Gültigkeitsgrenzen			
1	 m_F	$b_{\text{eff}} = t_y + 2,5 x \cdot \left(1 - \frac{x}{l_{\text{eff}}}\right)$	$0 < \frac{x}{l_{\text{eff}}} < 1$	$\frac{t_y}{l_{\text{eff}}} \leq 0,8$	$\frac{t_x}{l_{\text{eff}}} \leq 1$
2	 v_S^A	$b_{\text{eff}} = t_y + 0,5 x$	$0 < \frac{x}{l_{\text{eff}}} < 1$	$\frac{t_y}{l_{\text{eff}}} \leq 0,8$	$\frac{t_x}{l_{\text{eff}}} \leq 1$
3		m_F	$b_{\text{eff}} = t_y + 1,5 x \cdot \left(1 - \frac{x}{l_{\text{eff}}}\right)$	$0 < \frac{x}{l_{\text{eff}}} < 1$	$\frac{t_y}{l_{\text{eff}}} \leq 0,8$
4	 m_S^A	$b_{\text{eff}} = t_y + 0,5 x \cdot \left(2 - \frac{x}{l_{\text{eff}}}\right)$	$0 < \frac{x}{l_{\text{eff}}} < 1$	$\frac{t_y}{l_{\text{eff}}} \leq 0,8$	$\frac{t_x}{l_{\text{eff}}} \leq 1$
5	 v_S^A	$b_{\text{eff}} = t_y + 0,3 x$	$0,2 < \frac{x}{l_{\text{eff}}} < 1$	$\frac{t_y}{l_{\text{eff}}} \leq 0,4$	$\frac{t_x}{l_{\text{eff}}} \leq 0,2$
6		 v_S^B	$b_{\text{eff}} = t_y + 0,4 \cdot (l_{\text{eff}} - x)$	$0 < \frac{x}{l_{\text{eff}}} < 0,8$	$\frac{t_y}{l_{\text{eff}}} \leq 0,4$
7		 m_F	$b_{\text{eff}} = t_y + x \cdot \left(1 - \frac{x}{l_{\text{eff}}}\right)$	$0 < \frac{x}{l_{\text{eff}}} < 1$	$\frac{t_y}{l_{\text{eff}}} \leq 0,8$
8	 m_S^A	$b_{\text{eff}} = t_y + 0,5 x \cdot \left(2 - \frac{x}{l_{\text{eff}}}\right)$	$0 < \frac{x}{l_{\text{eff}}} < 1$	$\frac{t_y}{l_{\text{eff}}} \leq 0,4$	$\frac{t_x}{l_{\text{eff}}} \leq 1$
9		 v_S^A	$b_{\text{eff}} = t_y + 0,3 x$	$0,2 < \frac{x}{l_{\text{eff}}} < 1$	$\frac{t_y}{l_{\text{eff}}} \leq 0,4$
10		 m_S	$b_{\text{eff}} = 0,2 l_{\text{eff}} + 1,5 x$	$0 < \frac{x}{l_{\text{eff}}} < 1$	$\frac{t_y}{l_{\text{eff}}} \leq 0,2$
11	 		$b_{\text{eff}} = t_y + 1,5 x$		$0,2 \leq \frac{t_y}{l_{\text{eff}}} \leq 0,8$
12	 v_S^A	$b_{\text{eff}} = 0,2 l_{\text{eff}} + 0,3 x$	$0,2 < \frac{x}{l_{\text{eff}}} < 1$	$\frac{t_y}{l_{\text{eff}}} \leq 0,4$	$t_x \leq 0,2 l_{\text{eff}}$
13			$b_{\text{eff}} = t_y + 0,3 x$		$0,2 \leq \frac{t_y}{l_{\text{eff}}} \leq 0,4$

- Bewehrungsführung unter Einzellasten (Zusatzbewehrung)

- bei Platten mit Einzellast in Feldmitte:



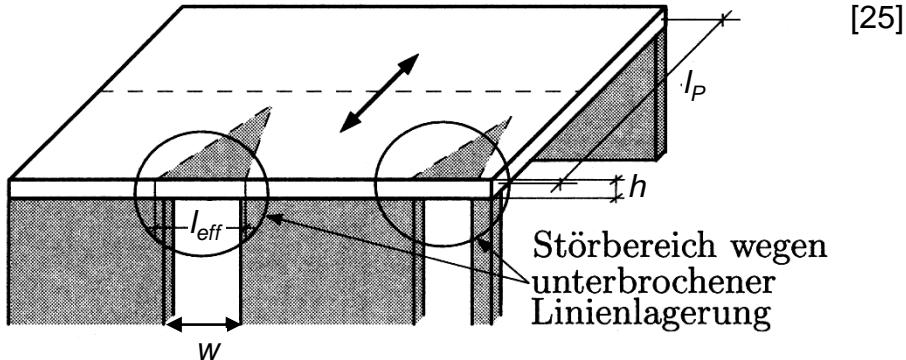
- bei Platten mit Einzellast in Randnähe:



- Platten mit unterbrochener Stützung (Linienlagerung)

- unterbrochene Stützungen entstehen durch Tür- und Fensteröffnungen, die bis zur Unterkante der Platte geführt werden
- es werden keine Unterzüge augebildet (deckengleicher Unterzug)

Definitionen:



mit: I_{eff} = effektive Länge der fehlenden Stützung

$$= 1,05 \cdot w$$

w = lichte Weite der fehlenden Unterstützung

Abgrenzungskriterien:

Durch die unterbrochene linienförmige Stützung verändert sich die Tragwirkung. Diese darf in Abhängigkeit von der effektiven Länge der unterbrochenen Stützung I_{eff} und der Plattendicke h wie folgt erfasst werden:

$I_{eff} / h \leq 7$:

- kein Nachweis für die fehlende Stützung erforderlich
- konstruktive Bewehrungszulagen in Richtung des deckengleichen Unterzuges (Ersatzbalken aus theoretischer Plattenpressung, i.d.R. rein konstruktiv)

$7 \leq I_{eff} / h \leq 15$:

- bei vorwiegend ruhender Belastung kein Nachweis nach der Plattentheorie erforderlich
- Bemessung der Platte im Bereich der unterbrochenen Stützung als deckengleicher Unterzug

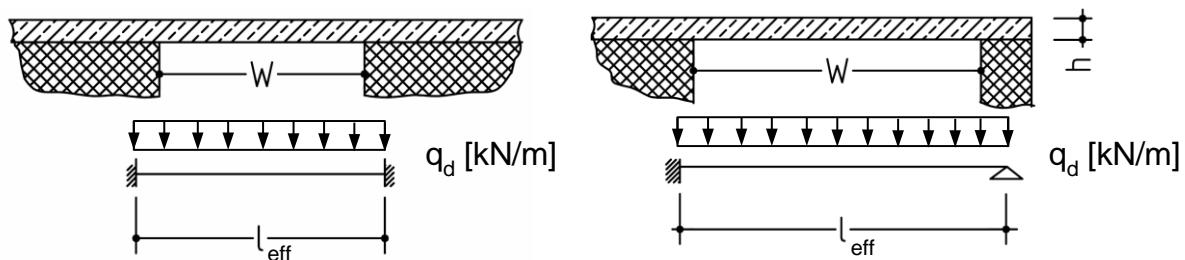
$I_{eff} / h > 15$:

- Berücksichtigung der fehlenden Stützung bei der Schnittgrößenermittlung erforderlich
- Nachweis nach der Plattentheorie (kein Näherungsverfahren)

Bemessung und Konstruktion als deckengleicher Unterzug

- statisches System:

- Die Schnittgrößen der Platte in Richtung der unterbrochenen Stützung dürfen an einem Ersatzbalken (deckengleicher Unterzug) ermittelt werden.
- Das statische System kann je nach Lage der fehlenden Stützung als beidseitig eingespannt, oder als auf einer Seite eingespannt und auf der anderen Seite gelenkig gelagert, angesehen werden.



- Belastung q_d :

- die Ermittlung der Belastung erfolgt über Lastverteilungsflächen
- die genaue Lastfläche wird durch 60°-Linien von den theoretischen Auflagerpunkten und ggf. von den Mittellinien der anschließenden Plattenspannweiten begrenzt
- vereinfachend darf auf der sicheren Seite liegend auch eine rechteckförmige Lastverteilungsfläche angenommen werden

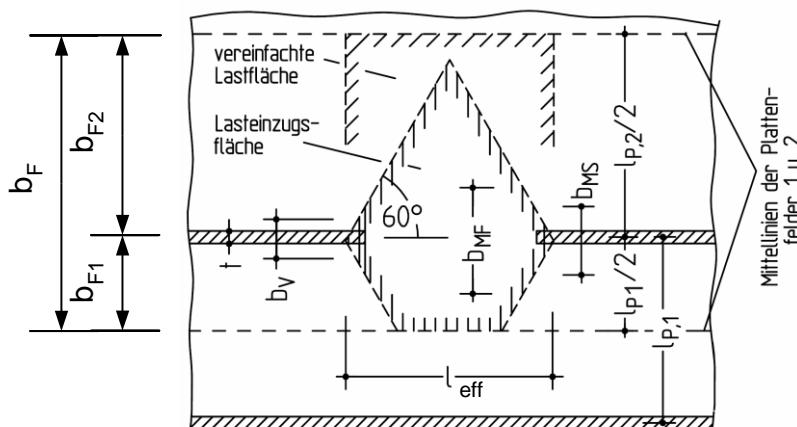
$$q_d [\text{kN/m}] = b_F \cdot q_d^* [\text{kN/m}^2]$$

mit: q_d = Ersatzstreckenlast auf dem deckengleichen Unterzug

q_d^* = maßg. Flächenlast auf der Platte

b_F = Breite der Lastfläche

[10]



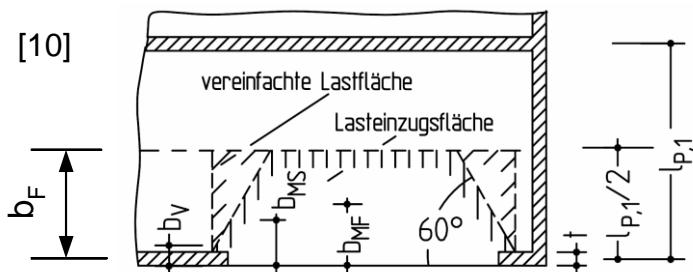
b_F bei unterbrochener Innenstützung:

$$b_{F1} = l_{eff} / 2 \cdot \tan 60^\circ \leq l_{P1} / 2$$

$$b_{F2} = l_{eff} / 2 \cdot \tan 60^\circ \leq l_{P2} / 2$$

$$b_F = b_{F1} + b_{F2}$$

b_F bei unterbrochener Endstützung:



$$b_F = l_{eff} / 2 \cdot \tan 60^\circ \leq l_{P1} / 2$$

- Biegebemessung:

Die Biegebemessung erfolgt für einen deckengleichen Unterzug mit den folgenden mitwirkenden Breiten b_M :

- unterbrochene Innenstützung:

im Feld: $b_{MF} = 0,50 \cdot l_{eff}$

über der Stütze: $b_{MS} = 0,25 \cdot l_{eff}$

- unterbrochene Endstützung:

im Feld: $b_{MF} = 0,25 \cdot l_{eff}$

über der Stütze: $b_{MS} = 0,125 \cdot l_{eff}$

- Querkraftbemessung:

Die Querkraftbemessung des deckengleichen Unterzugs ist für einen Rechteckquerschnitt mit folgender mitwirkender Breite b_V zu führen:

- unterbrochene Innenstützung:

$$b_V = t + h$$

- unterbrochene Endstützung:

$$b_V = t + 0,5 \cdot h$$

mit: t = Auflagerbreite für Deckenplatte

Sofern eine Querkraftbewehrung erforderlich ist, ist diese in Form von Bügeln auszuführen und wie bei einem Balken zu bemessen. Die Bügel müssen die Längsbewehrung unten umschließen.

- Bewehrungsführung (Zusatzbewehrung)

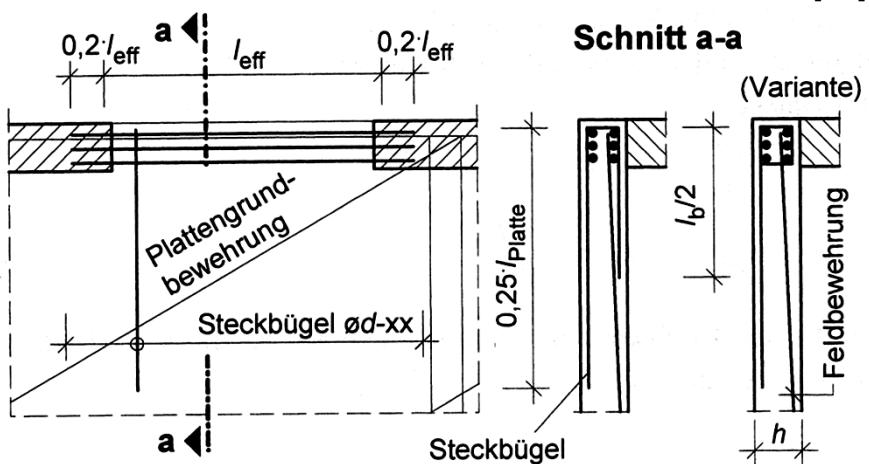
[23]

- bei unterbrochener Endstützung:

Mindesquerschnitt der Steckbügel:

$$a_{sw,min} = 0,1 \cdot d$$

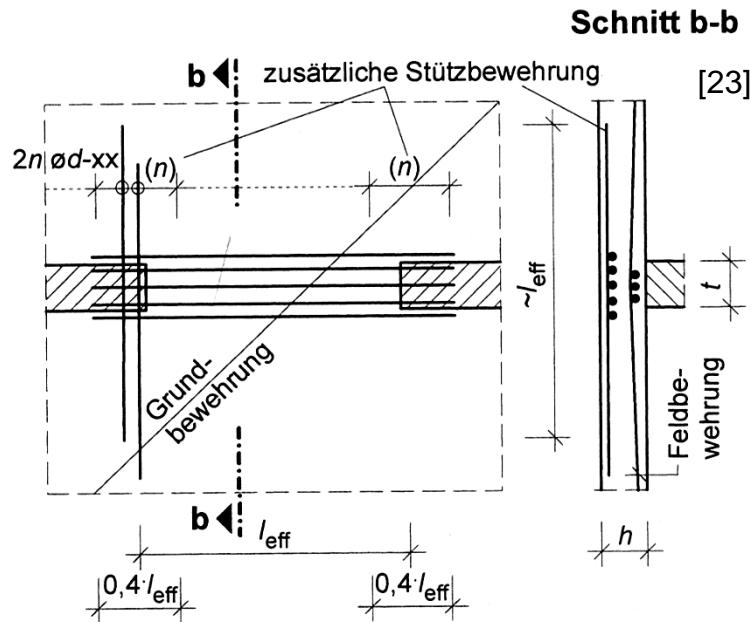
$$(d \text{ [cm]}, a_{sw} \text{ [cm}^2/\text{m]})$$



- bei unterbrochener Innenstützung:

zusätzliche Stützbewehrung in Auflagerbreichen ($0,4 \cdot l_{\text{eff}}$):

$$\Delta a_{s,0} = \frac{l_{\text{eff}}/h - 10}{5} \cdot 0,4 \cdot \text{vorh } a_{s,0}$$



→ für $l_{\text{eff}} / h < 10$ ist die aus der Plattenbemessung oben liegende Biegezugbewehrung vorh $a_{s,0}$ ausreichend

• Öffnungen in Platten:

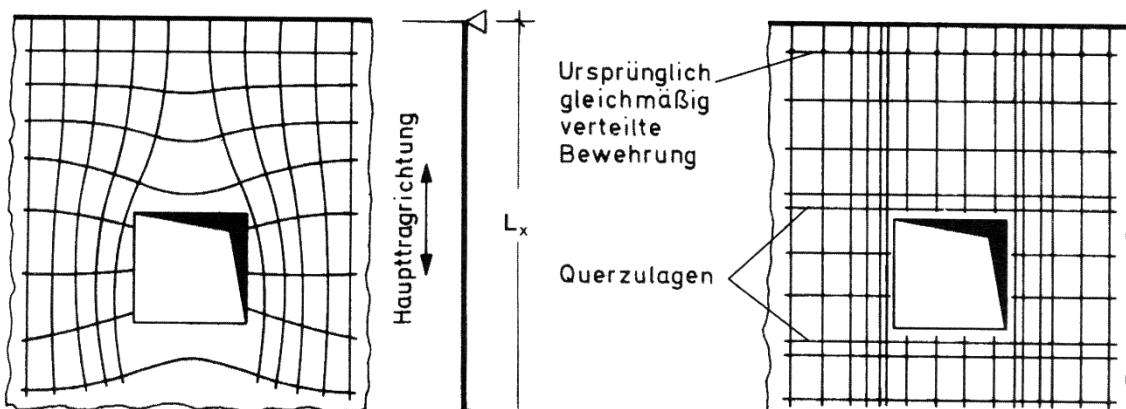
Allgemeines:

- Öffnungen in Platten stören den inneren Kraftfluss und stellen daher räumliche Diskontinuitäten dar
- analytische Schnittgrößenermittlung schwierig
- Nach der Elastizitätstheorie ergeben sich unendlich große Spannungen in den Öffnungsecken. Unter Berücksichtigung der Rissentwicklung in der Zugzone stellen sich diese jedoch nicht ein.

→ Tragverhalten hängt stark von der Lage und Größe der Öffnungen ab

→ wichtig: sinnvolle Bewehrungsführung

[10]



Kleine Öffnungen: $c_i / l_i \leq 0,2$ mit: c_i = Öffnungsgröße in Koordinatenrichtung
 l_i = Stützweite der Platte in Koordinatenrichtung

- Schnittgrößenermittlung:

Bei kleinen Öffnungen dürfen die Plattschnittgrößen wie für eine ungeschwächte Platte ermittelt werden.

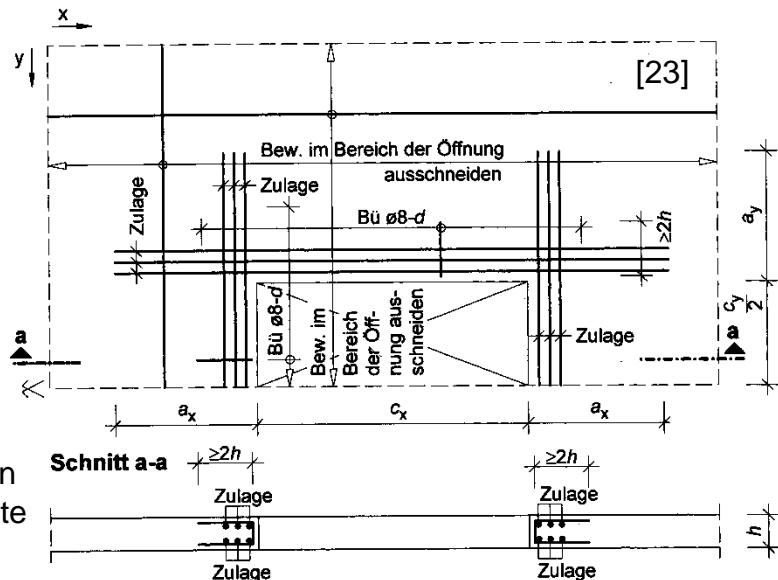
Die Drillsteifigkeit der Platte ist je nach Lage der Öffnungen wie folgt anzusetzen:

- Ecklage einer kleinen Öffnung: Schnittgrößenermittlung für verminderte Drillsteifigkeit
- kleine Öffnung in Plattenmitte: Schnittgrößenermittlung für volle Drillsteifigkeit

- Bewehrungsführung (Zusatzbewehrung)

→ Zusatzbeanspruchungen aus der Öffnung werden konstruktiv abgedeckt

Auswechseln der Bewehrung:

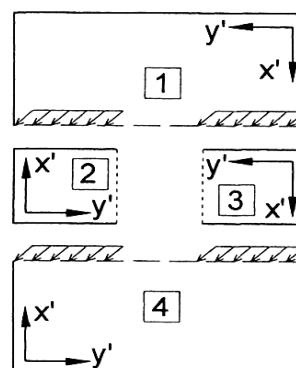
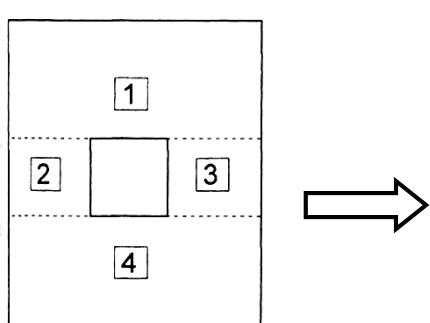


Zulage =

halbe herausgeschnittene Bewehrung der entsprechenden Richtung auf jeder Öffnungsseite oben und unten

Große Öffnungen: $c_i / l_i > 0,2$

- Schnittgrößenermittlung und Bemessung unter Berücksichtigung der Öffnung
- mögliche Verfahren: - in der Regel mittels FE-Methoden
 - Näherungsverfahren (Beispiel siehe unten)



Aufteilung in Einzelplatten:

Auflagerkräfte der Teilplatten 2 und 3 sind als Zusatzbelastung auf die Teilplatten 1 und 4 anzusetzen

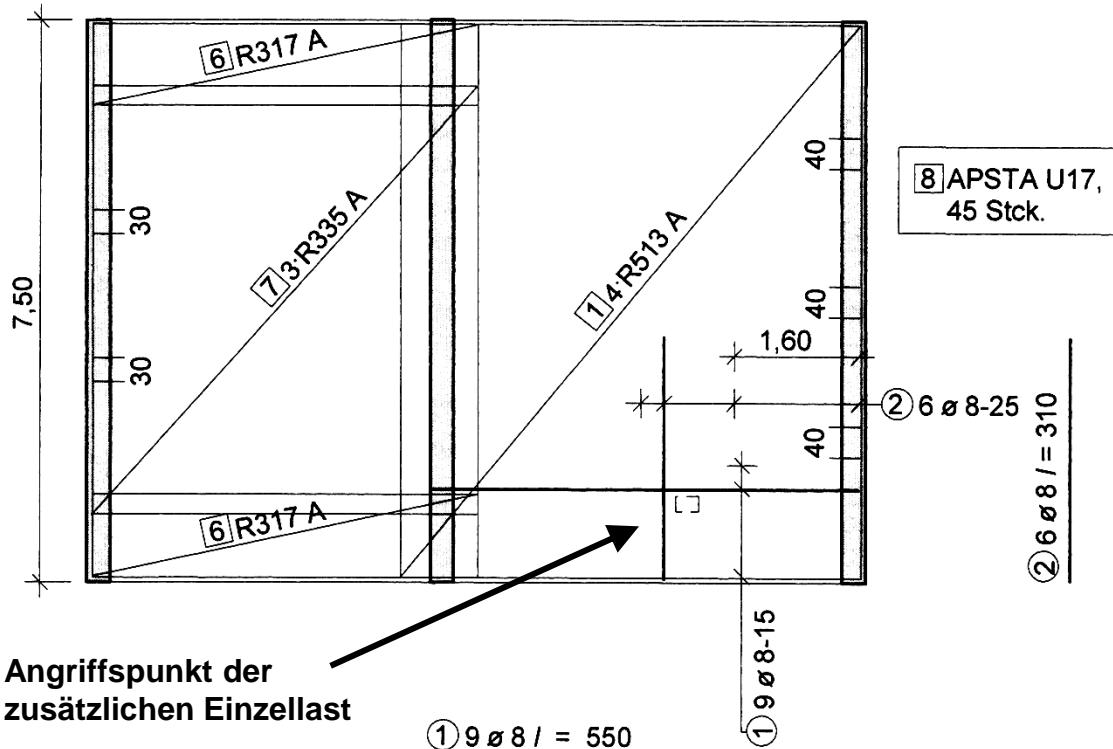
Bewehrungsbeispiele

- Beispiel 1:

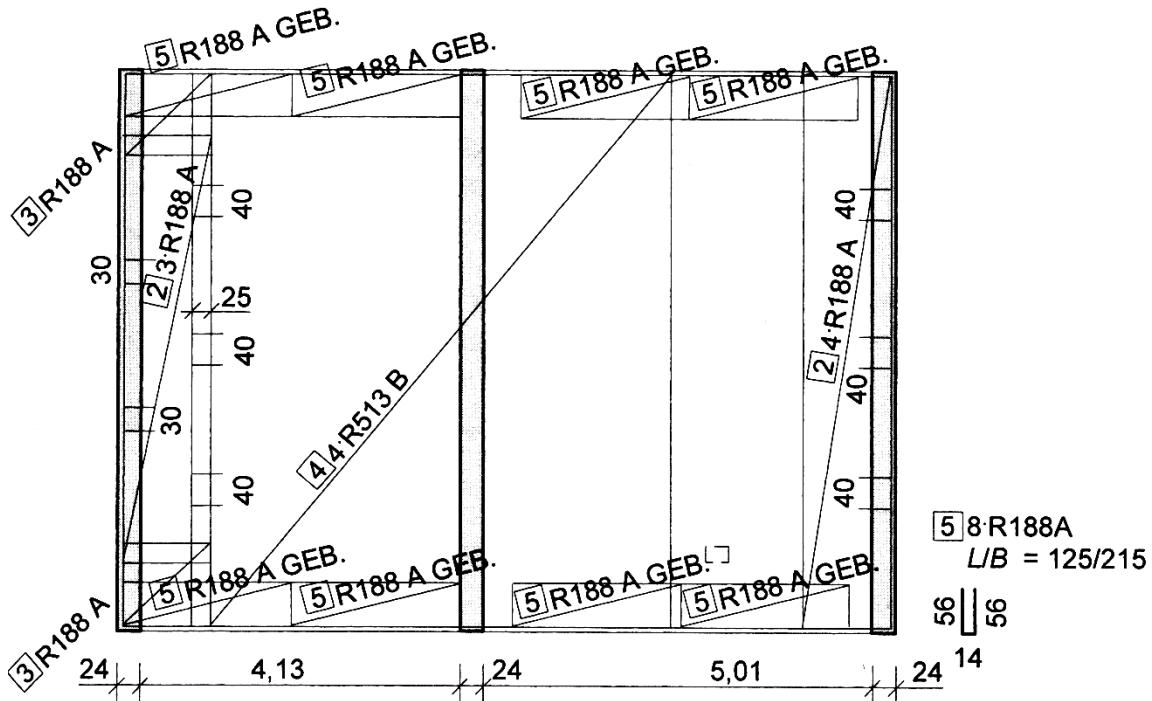
[23]

Einachsig gespannte Platte unter Gleichstreckenlast und zusätzlicher Einzellast

Untere Bewehrungslage



Obere Bewehrungslage

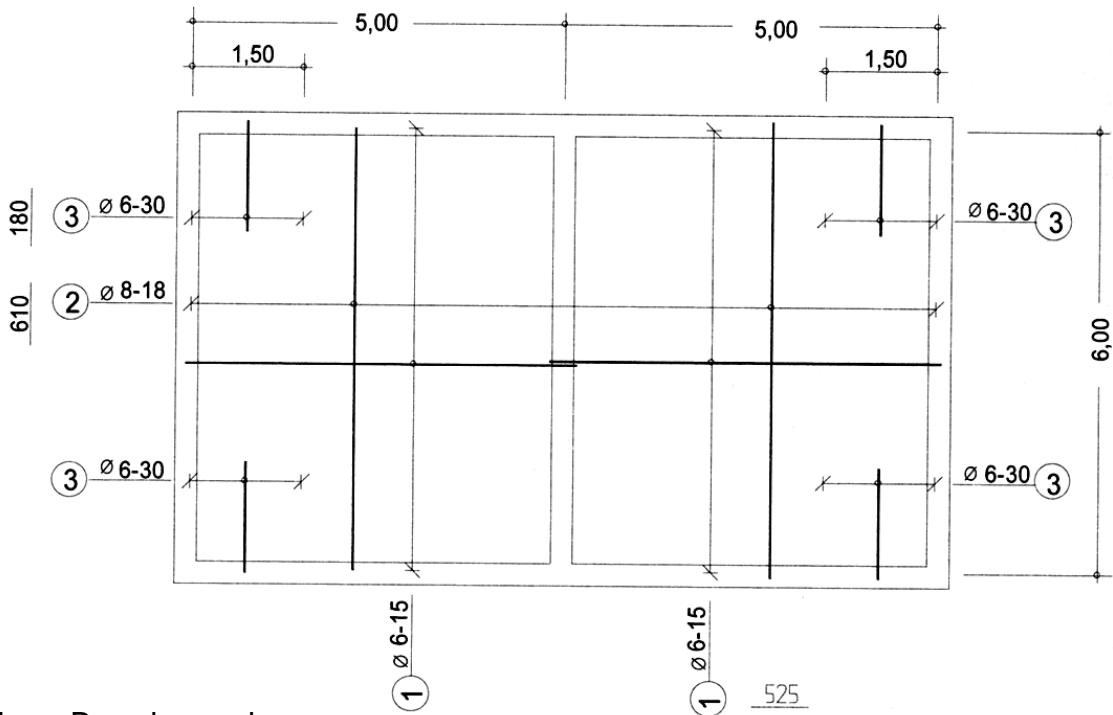


- Beispiel 2:

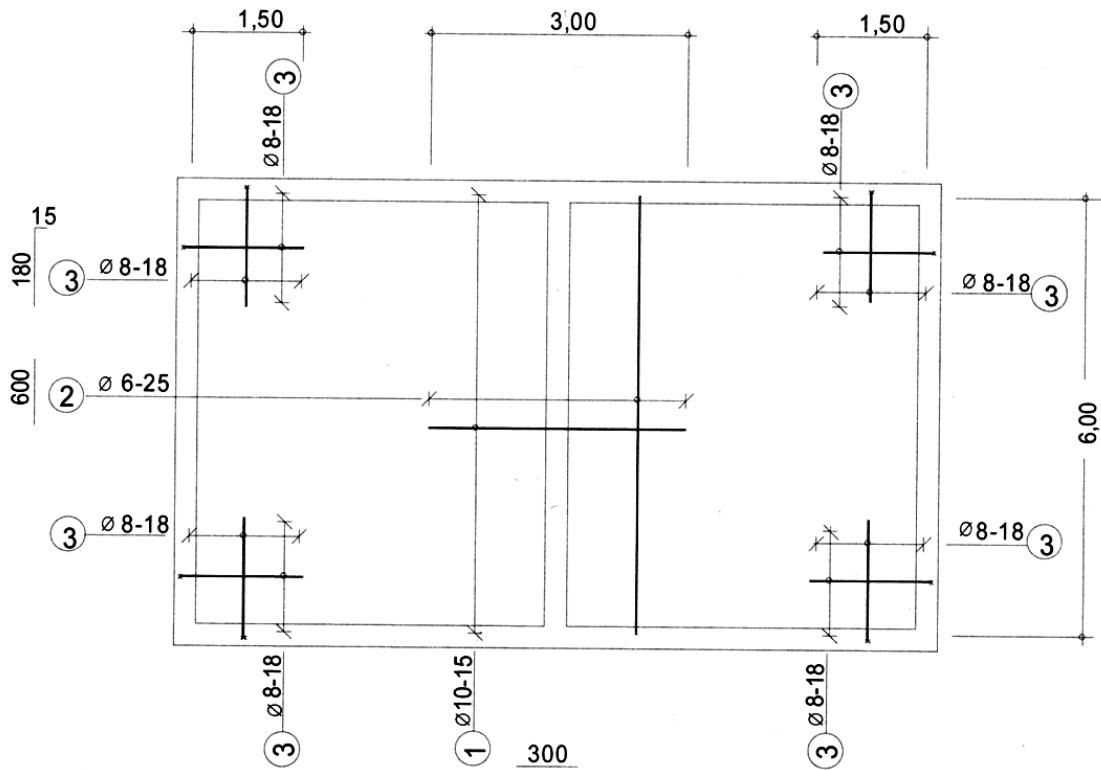
[10]

**Zweiachsig gespannte Zweifeld-Platte unter Gleichstreckenlast
(Bewehrung mit Betonstabstahl)**

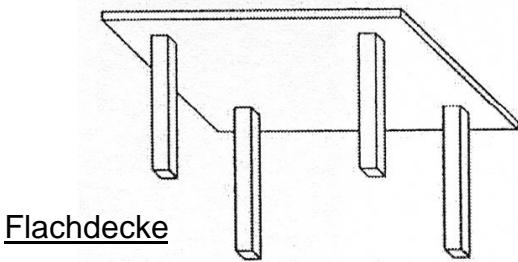
Untere Bewehrungslage



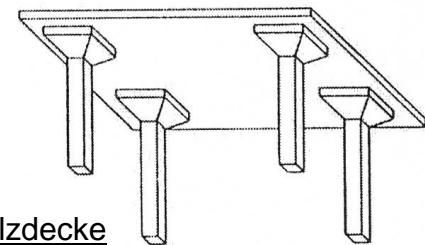
Obere Bewehrungslage



Bemessung und Konstruktion punktförmig gestützter Platten



Flachdecke



Pilzdecke

Vorteile:

- keine störenden Unterzüge → Flexibilität bei Installationen und Raumauftteilung
- ebene Betonunterflächen → Schalungsarbeiten vereinfacht
- niedrige Konstruktionshöhe

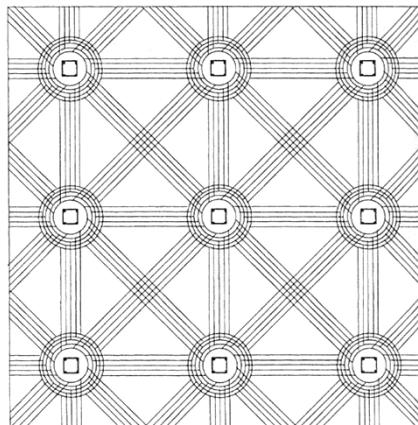
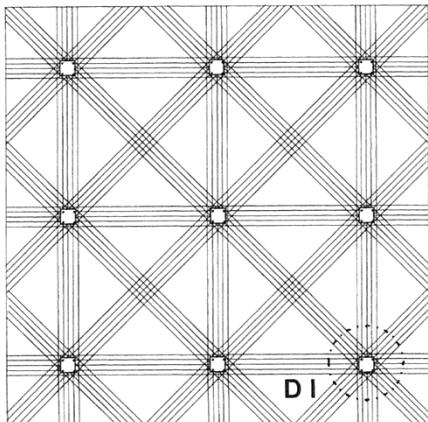
Nachteile:

- Durchstanzgefahr → ggf. Anordnung von Durchstanzbewehrung erforderlich
- höherer Baustoffbedarf
- größere Durchbiegung als bei linienförmig gelagerten Platten

Lastabtrag:

- Querkräfte und Biegemomente verlaufen nur bei geringer Beanspruchung radial und somit in gleicher Richtung
- mit zunehmender Beanspruchung führt die Rissbildung zu einer Umlagerung der Biegemomente in tangentialer Richtung
- in radialer Richtung keine ausgeprägte Biegendruckzone bzw. Kornverzahnung
→ in der Regel Ausführung mit Durchstanz(Querkraft-)bewehrung erforderlich

Tragstreifen bei geringer (links) und hoher Biege- und Querkraftbeanspruchung

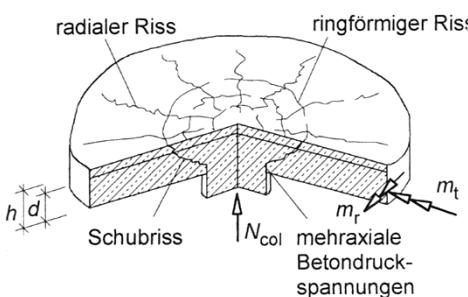


[23]

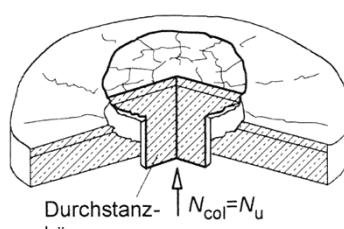
Hinweis:

- dargestellt sind die Haupttragrichtungen
- Bewehrungsführung erfolgt stets orthogonal

Detail I



Versagenszustand



Schnittgrößenermittlung bei Flachdecken

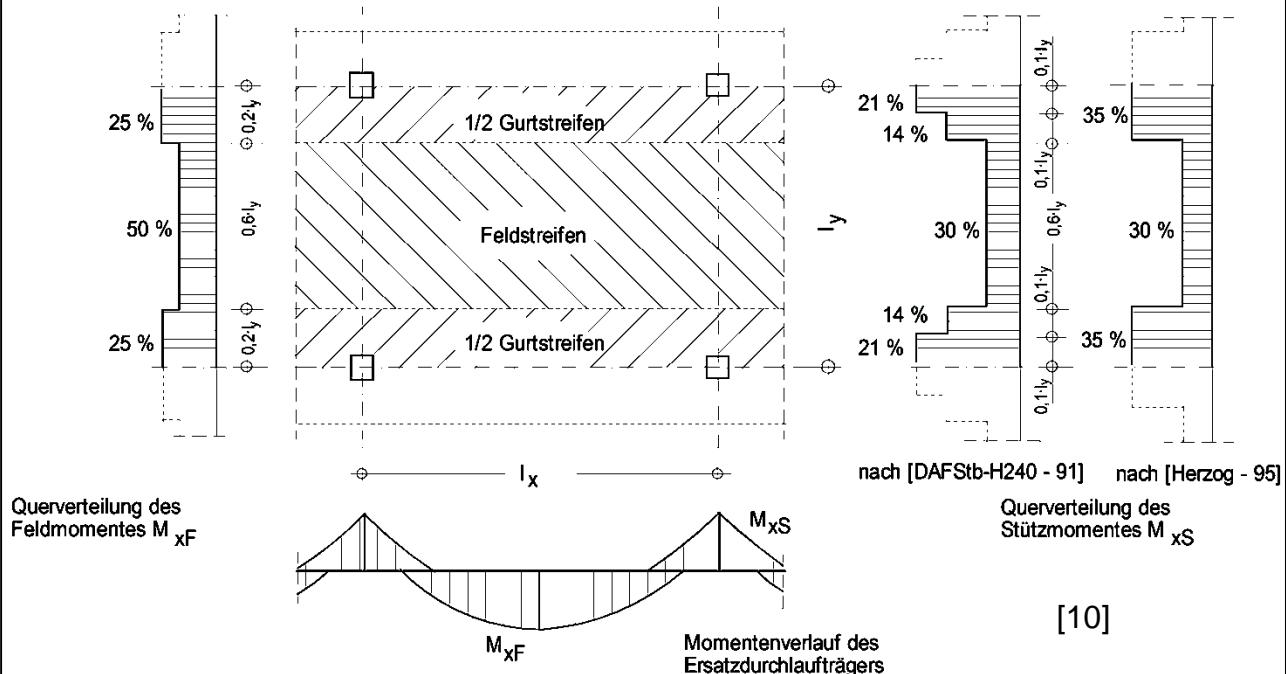
a) Näherungsverfahren an einem Ersatzrahmen bzw. -durchlaufträger [18]

Anwendungsgrenzen :

- rechteckiges Stützenraster mit folgendem Stützweitenverhältnis: $0,75 \leq \frac{l_x}{l_y} \leq 1,33$
- Querdehnzahl $\mu = 0$

Vorgehen:

- Betrachtung der Platte als sich kreuzende Längs- und Querträger
- Schnittgrößenermittlung an Ersatzdurchlaufträgern in x- und y-Richtung
- Querverteilung der Biegemomente in Gurt- und Feldstreifen



b) Näherungsverfahren nach der Plattentheorie [18]

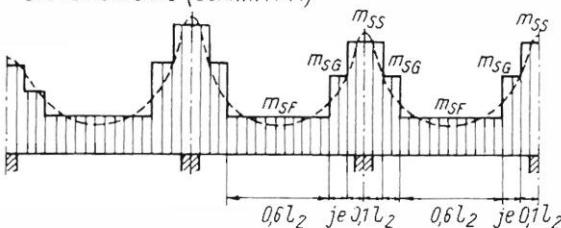
- Berechnung der Biegemomente mit Hilfe von Momentenbeiwerten
- Beiwerte wurden durch Modellversuche und mit Hilfe der Theorie dünner elastischer Platten ermittelt
- Schnittgrößenermittlung in den Gurt- und Feldstreifen von Innen-, Rand- und Endfeldern
- Querdehnzahl $\mu = 0,2$

Bezeichnung der Felder und der Plattenstreifen, Verlauf der Momentengrenzlinien und Verteilung der Momente rechtwinklig zur betrachteten Tragrichtung

Verteilung der Momente

rechtwinklig zur betrachteten Tragrichtung 1

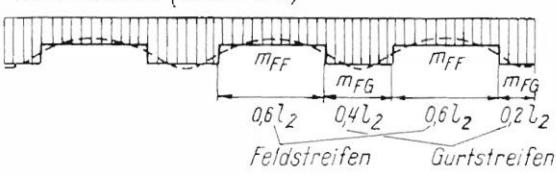
Stützmomente (Schnitt A-A')



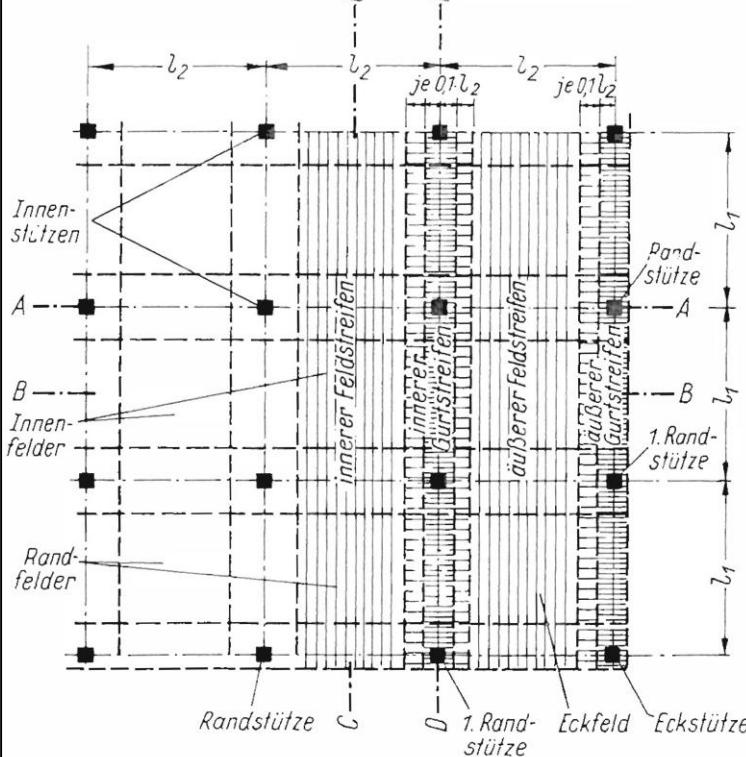
[18]

Für die Bemessung
benötigte Werte

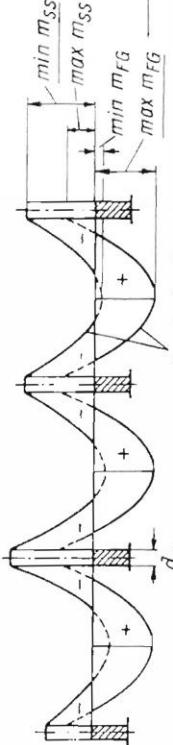
Feldmomente (Schnitt B-B')



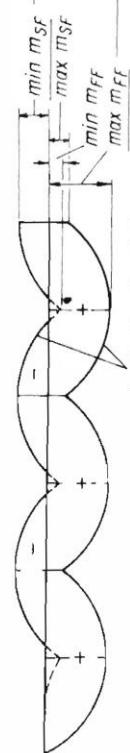
Feldstreifen Gurtstreifen



Grenzlinien der Momente in der betrachteten Tragrichtung 1
im Gurtstreifen (Schnitt D-D')



quadratische Parabeln



quadratische Parabeln

● Berechnung der Stützmomente über der Innenstütze:

- im inneren Gurtsstreifen ($0,1 \cdot l$): $m_{SS} = k_{SS}^g \cdot c \cdot g_d \cdot I_m^2 + k_{SS}^p \cdot c \cdot p_d \cdot I_m^2$

- im äußeren Gurtsstreifen ($0,1 \cdot l$): $m_{SG} = 0,7 \cdot m_{SS}$

- im Feldstreifen ($0,6 \cdot l$): $m_{SF} = k_{SF}^g \cdot c \cdot g_d \cdot I_m^2 + k_{SF}^p \cdot c \cdot p_d \cdot I_m^2$

● Berechnung der Feldmomente im Innenfeld:

$$\text{im gesamten Gurtstreifen } (0,2 \cdot l): \quad m_{FG} = k_{FG}^g \cdot c \cdot g_d \cdot l^2 + k_{FG}^p \cdot c \cdot p_d \cdot l^2$$

$$\text{im Feldstreifen } (0,6 \cdot l): \quad m_{FF} = k_{FF}^g \cdot c \cdot g_d \cdot l^2 + k_{FF}^p \cdot c \cdot p_d \cdot l^2$$

g_d = Bemessungswert der ständigen Lasten

p_d = Bemessungswerte der veränderlichen Lasten

l = Stützweite in der betrachteten Richtung

l_m = Mittelwert der Stützweiten angrenzender Felder

k = Momentenbeiwerte

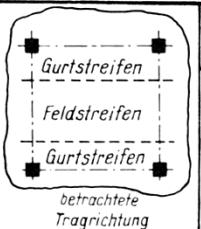
c = Korrekturfaktor zur Berücksichtigung
des Einflusses der Stützendicke d_s

d_s = Kantenlänge des Stützenquerschnitts eines
flächengleichen Quadrats

$$(\text{bei Rechteckstütze: } d_s = \sqrt{d_{s,x} \cdot d_{s,y}})$$

$$\epsilon = \frac{\text{Stützweite in der betrachteten Tragrichtung}}{\text{Stützweite rechtwinklig zur betrachteten Tragrichtung}}$$

Momentenbeiwerte für ein Innenfeld

	Feldmoment		Stütz-moment	
	Feld-streifen	Gurt-streifen	Feldstreifen (Gurt-streifen siehe Tafel 3.5 m_{SF})	
ϵ	Lastfall	k_{FF}	k_{FG}	k_{SF}
0,67	g	0,042	0,060	- 0,020
	max p	0,091	0,096	0,058
	min p	- 0,049	- 0,036	- 0,049
0,80	g	0,039	0,057	- 0,020
	max p	0,084	0,093	0,032
	min p	- 0,045	- 0,036	- 0,045
1,00	g	0,041	0,052	- 0,030
	max p	0,083	0,089	0,020
	min p	- 0,042	- 0,037	- 0,050
1,25	g	0,043	0,049	- 0,040
	max p	0,083	0,086	0,023
	min p	- 0,040	- 0,037	- 0,063
1,50	g	0,044	0,047	- 0,047
	max p	0,083	0,084	0,024
	min p	- 0,039	- 0,037	- 0,071

Momentenbeiwerte für eine Innenstütze

$\frac{d_s}{\min l}$	Last-fall	(1)	
		Innenstütze, für beide Trag-richtungen	k_{SS}
0,05	g	- 0,224	
	max p	0,081	
	min p	- 0,305	
0,10	g	- 0,160	
	max p	0,061	
	min p	- 0,221	
0,15	g	- 0,123	
	max p	0,049	
	min p	- 0,172	
0,20	g	- 0,098	
	max p	0,040	
	min p	- 0,138	
0,25	g	- 0,078	
	max p	0,034	
	min p	- 0,112	
0,30	g	- 0,063	
	max p	0,029	
	min p	- 0,092	

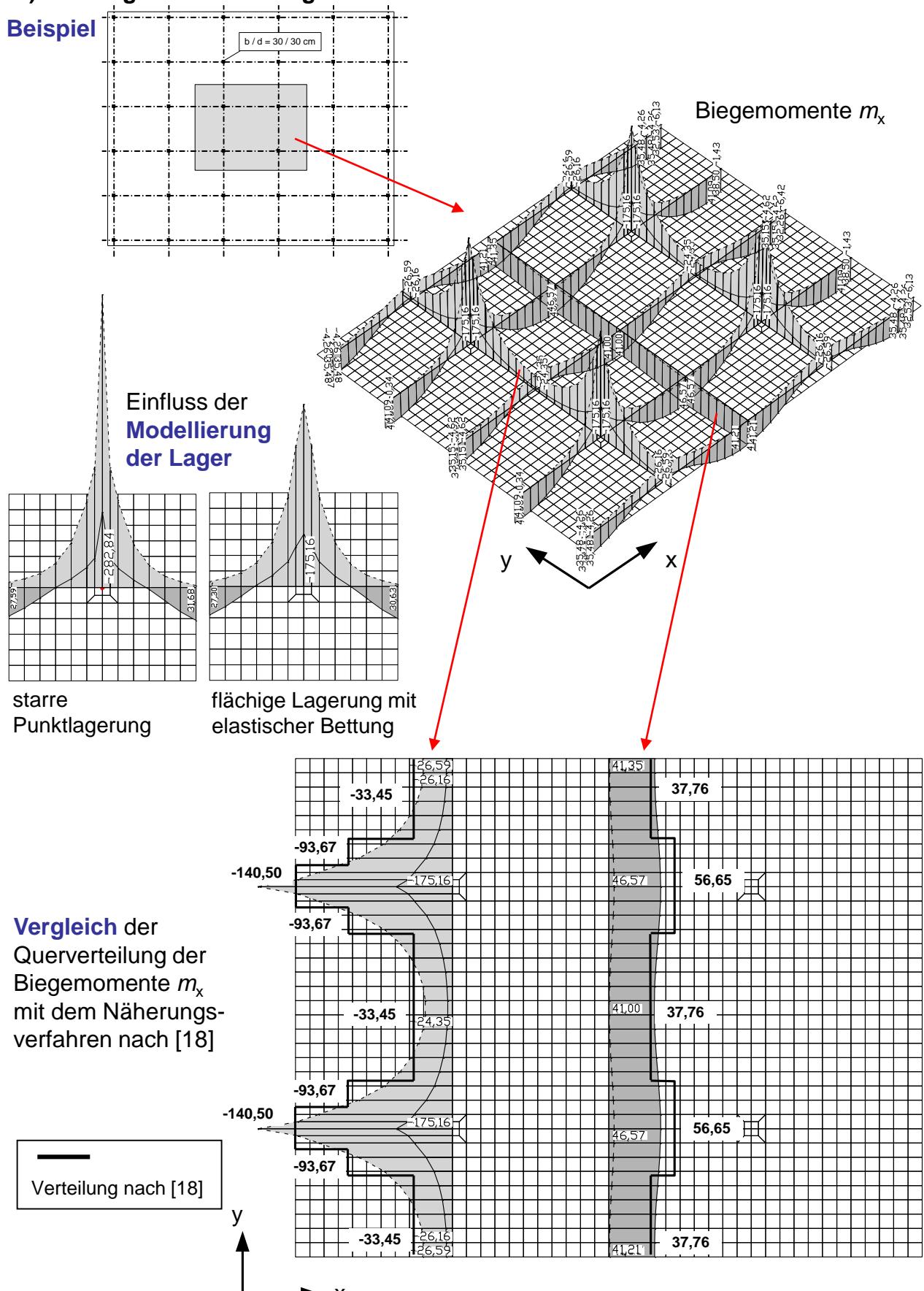
[18]

Korrekturfaktor c

$\frac{d_s/\min l}{\epsilon}$	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30
0,6	1,77	1,81	1,85	1,90	1,94	1,98
0,7	1,48	1,50	1,52	1,55	1,57	1,59
0,8	1,28	1,29	1,30	1,30	1,31	1,32
0,9	1,13	1,13	1,13	1,14	1,14	1,14
1,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,1	0,96	0,97	0,98	1,00	1,01	1,02
1,2	0,92	0,94	0,97	0,99	1,02	1,04
1,3	0,89	0,93	0,97	1,00	1,04	1,08
1,4	0,86	0,91	0,96	1,02	1,07	1,12
1,5	0,84	0,90	0,96	1,03	1,09	1,15

c) Schnittgrößenermittlung mit Hilfe der FE-Methode

Beispiel



Erforderliche Längsbewehrung [2]

Ermittlung und Verteilung der Längsbewehrung anhand der Streifeneinteilung

Mindestlängsbewehrung

Zur Sicherstellung einer ausreichenden Querkrafttragfähigkeit ist die Platte im Bereich der Stützen in x- und y-Richtung für folgende Mindestmomente zu bemessen:

$$\min m_{Ed,x} = \eta_x \cdot V_{Ed}$$

$$\min m_{Ed,y} = \eta_y \cdot V_{Ed}$$

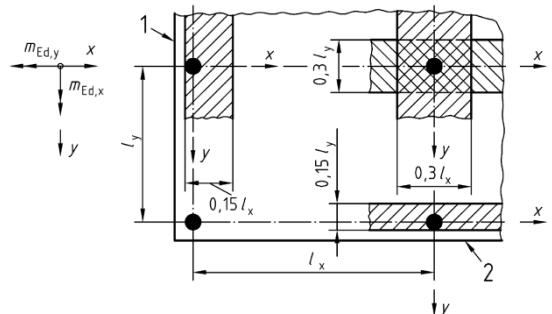


Tabelle NA 6.1.1

Momentenbeiwerte und Verteilungsbreite der Mindestlängsbewehrung

[2]

Zeile	Spalte	1	2	3	4	5	6
		η_x		anzu-setzende Breite ^b	η_y		anzu-setzende Breite ^b
		Zug an der Plattenoberseite ^c	Zug an der Plattenunterseite ^c		Zug an der Plattenoberseite ^c	Zug an der Plattenunterseite ^c	
1	Innenstütze	0,125	0	0,3 l _y	0,125	0	0,3 l _x
2	Randstütze, Rand „x“ ^a	0,25	0	0,15 l _y	0,125	0,125	(je m Plattenbreite)
3	Randstütze, Rand „y“ ^a	0,125	0,124	(je m Plattenbreite)	0,25	0	0,15 l _x
4	Eckstütze	0,5	0,5	(je m Plattenbreite)	0,5	0,5	(je m Plattenbreite)

^a Definition der Ränder und der Stützenabstände l_x und l_y siehe Bild NA.6.22.1.

^b Siehe Bild NA.6.22.1.

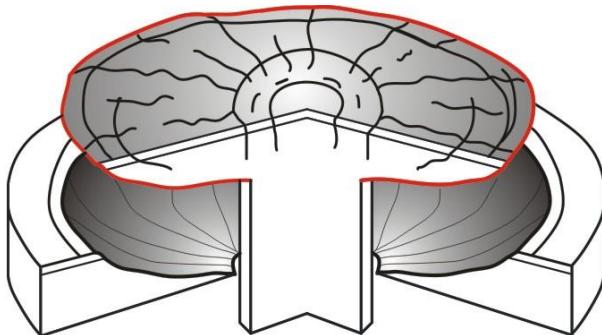
^c Die Plattenoberseite bezeichnet die der Lasteinleitungsfläche gegenüberliegende Seite der Platte; die Plattenunterseite diejenige Seite, auf der die Lasteinleitungsfläche liegt.

Vermeidung eines fortschreitenden Versagens von punktförmig gestützten Platten

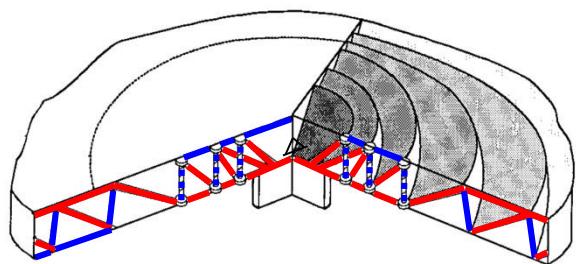
Ein Teil der Feldbewehrung ist stets über die Stützstreifen im Bereich von Innen- und Randstützen hinweg zu führen und dort zu verankern. Die hierzu erforderliche Bewehrung muss mindestens folgende Querschnittsfläche aufweisen und ist im Bereich der Lasteinleitungsfläche (Stützenquerschnitt) anzutragen:

$$A_s = \frac{V_{Ek}}{f_{yk}}$$

Durchstanzen bei punktförmig gelagerten Platten



Versagensbild ohne Durchstanzbewehrung

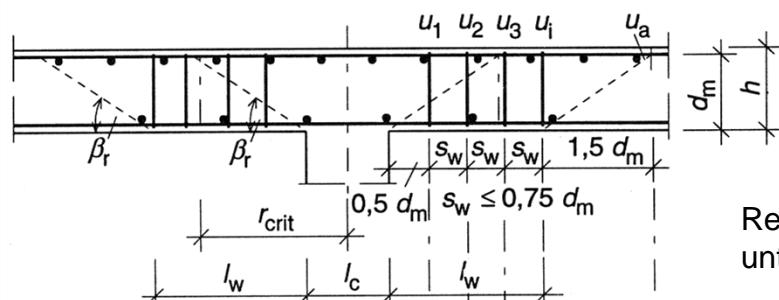


räumliches Fachwerkmodell

Maßgebende Querkraft:

$$V_{Ed} = \frac{\beta \cdot V_{Ed}}{u}$$

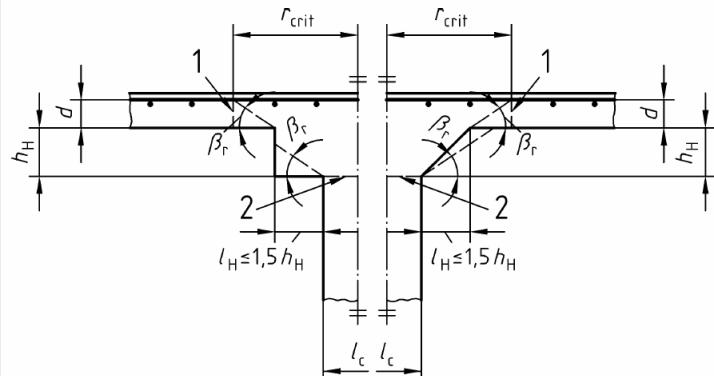
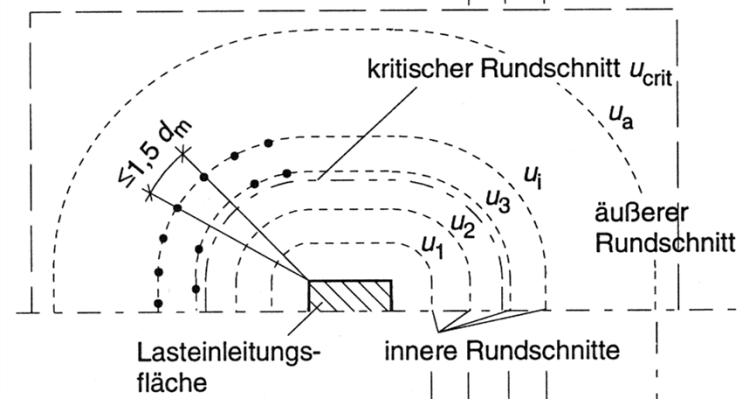
Querschnitt



Rechnerische Nachweise in unterschiedlichen Rundschnitten

→ vgl. Skript Grundlagen I

Grundriss

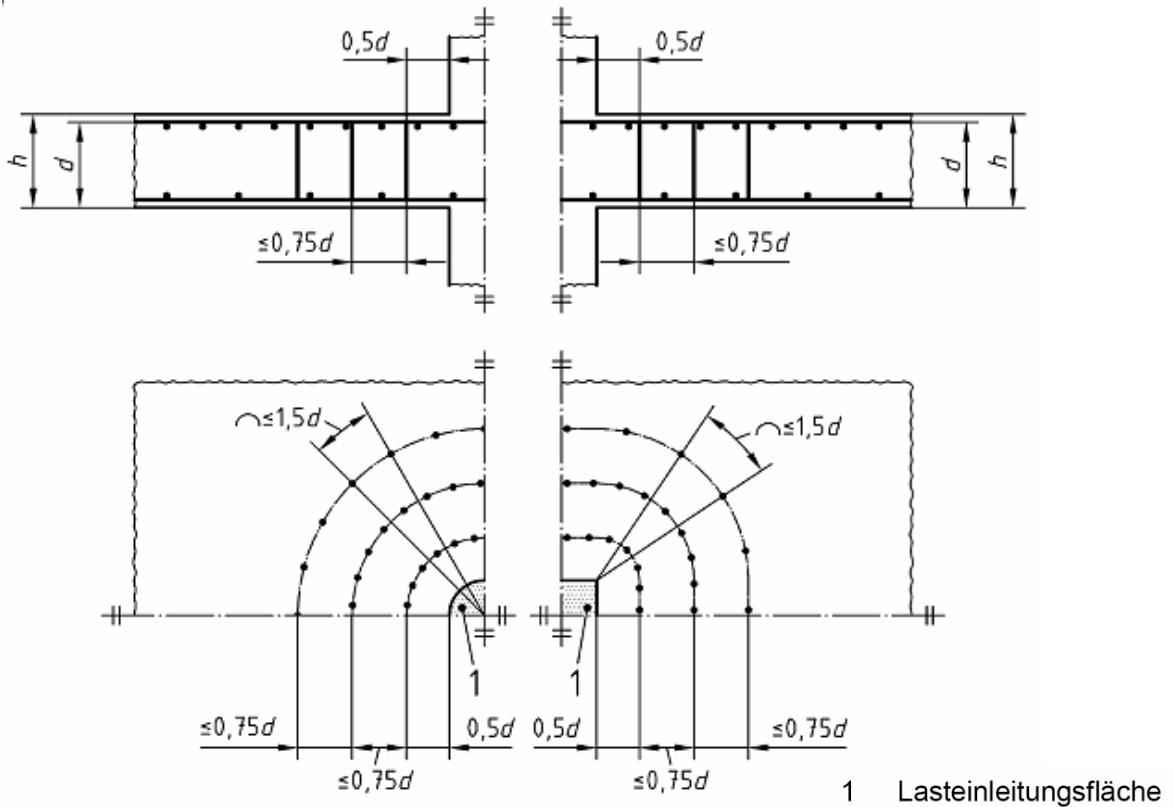


Stützenkopfverstärkung

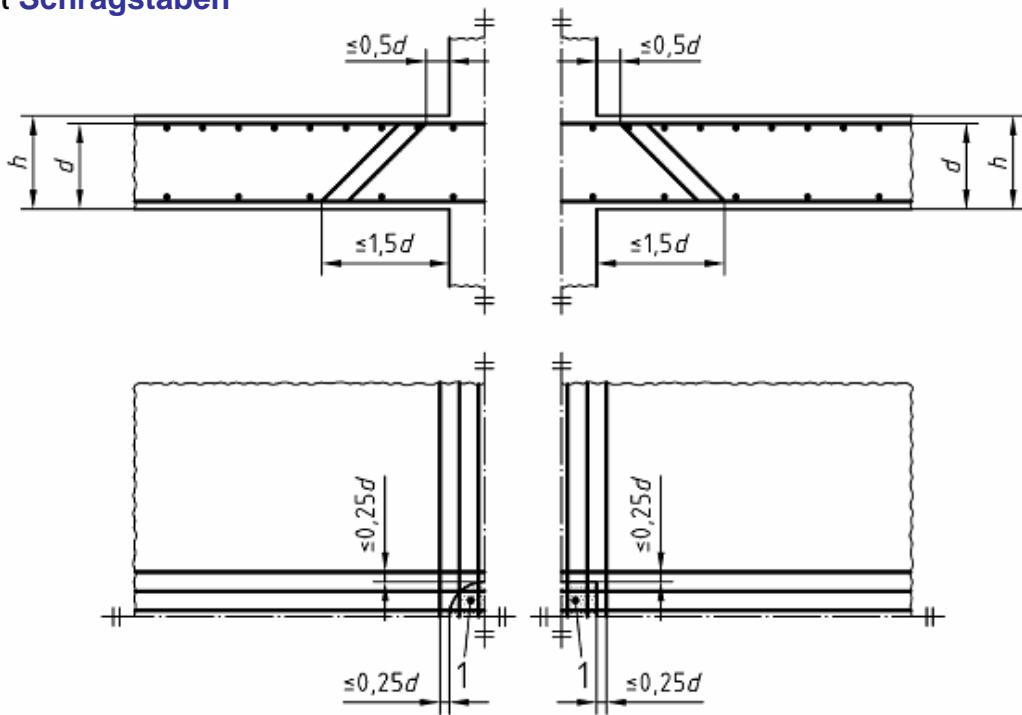
→ Beeinflussung des kritischen Rundschnitts

Formen der Durchstanzbewehrung

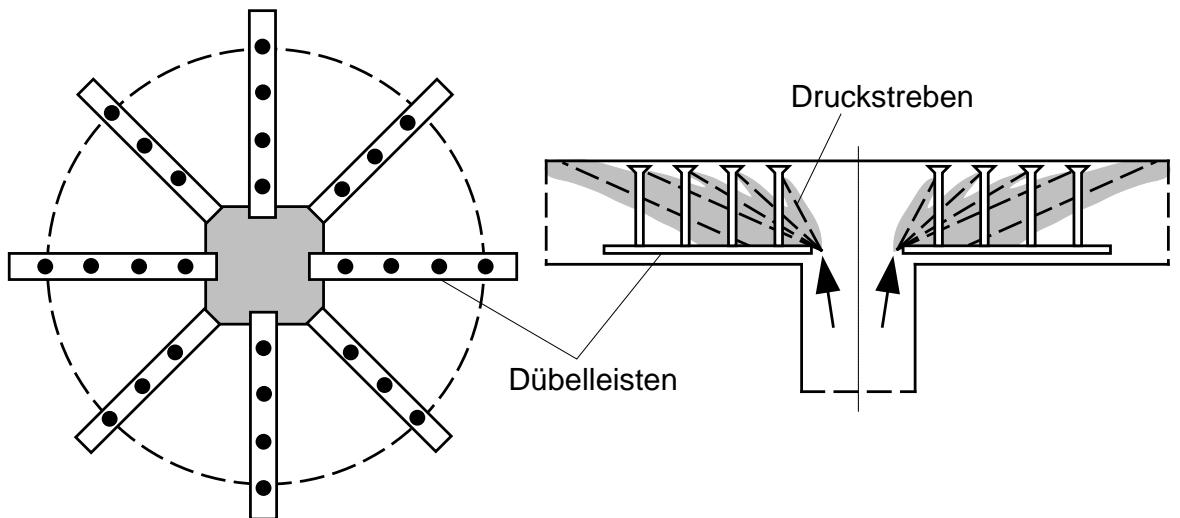
Durchstanzbewehrung mit
vertikalen Bügelschenkeln



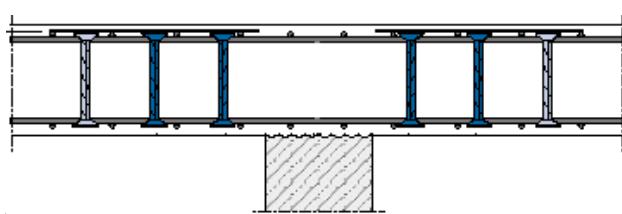
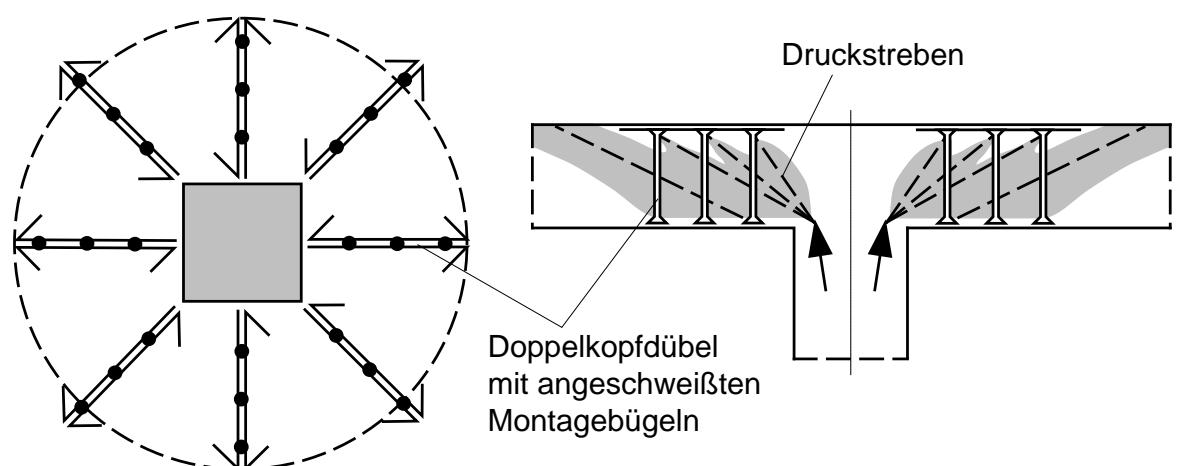
Durchstanzbewehrung
mit **Schrägstäben**



Durchstanzbewehrung mit **Dübelleisten**



Durchstanzbewehrung mit **Doppelkopfdübeln**



Ausgeprägten **Kopfgeometrie** der Dübel bzw. Doppelköpfe verbessert die **Verankerung** der Bewehrung im Beton

→ stark erhöhte Durchstanztragfähigkeit



1. Balken (Träger)

Im Allgemeinen ist die Trägerhöhe hier die bestimmende Entwurfsgröße. Für ihre Dimensionierung wird bei hauptsächlich biegebeanspruchten Bauteilen i.d.R. entweder der Nachweis der Verformungsbeschränkung im GZG oder der Nachweis der Biegetragfähigkeit im GZT maßgebend.

(a) Verformungsbeschränkung

nach [1] kann i.d.R. angenommen werden, dass die Anforderungen an die Verformungsbeschränkung erfüllt sind wenn gilt:

- Durchhang $f \leq l / 250$ ohne erhöhte Verformungsanforderungen
- Durchbiegung $w \leq l / 500$ erhöhte Verformungsanforderungen (Schäden an angrenzenden Bauteilen)

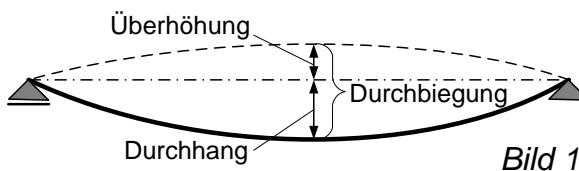


Bild 1

Begrenzung der Biegeschlankheit

als überschlägiger Nachweis der Verformung ohne direkte Berechnung nach [4] mit Modifikationen nach [28]

erf $d = I_i / \lambda_i \cdot k_c$ mit:

$$I_i = \eta_i I_{\text{eff}} \quad \text{ideelle Stützweite nach Tabelle 1}$$

$$\lambda_i \quad \text{Grenzschlankheit nach Bild 2}$$

$$k_c = (f_{ck0} / f_{ck})^{1/6}$$

dabei $f_{ck0} = 20 \text{ N/mm}^2$

Statisches System	η_i
frei drehbar gelagerter Einfeldträger	1,00
Endfeld eines Durchlaufträgers	0,80
Mittelfeld eines Durchlaufträgers	0,70
Kragträger	2,50

Tabelle 1

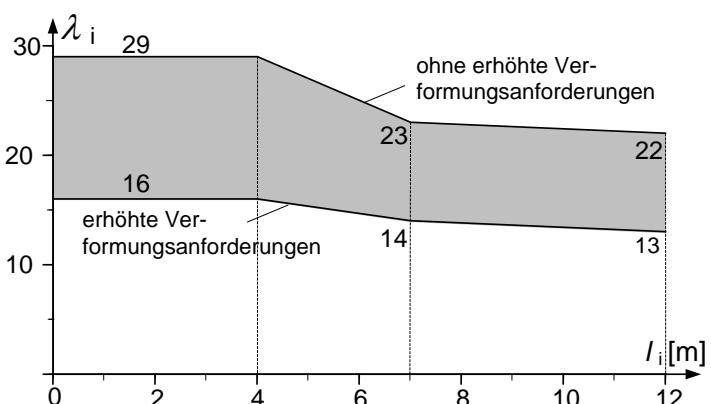


Bild 2

Abschätzung der Durchbiegung

Die zu erwartende Verformung von biegebeanspruchten Stahlbetonbauteilen liegt zwischen dem Wert einer linear elastischen Berechnung im Zustand I f_{I0} (Kleinstwert), und einer Berechnung unter Berücksichtigung von zeitabhängigen Verformungen aus Kriechen und Schwinden, bei Annahme eines reinen Zustands II $f_{II,\varphi,s}$ (Größtwert). f_{I0} kann mittels Tabellenwerten (z.B. [26]) oder einer Berechnung mit EDV-Programmen bestimmt werden. $f_{II,\varphi,s}$ kann nach [29] und [30] über folgenden Ansatz aus f_{I0} abgeschätzt werden:

$$f_{II,\varphi,s} = K_f \cdot f_{I0} \quad \text{dabei:}$$

f_{I0} = linear elastische Verformung zum Zeitpunkt t=0

falls mit Bruttoquerschnittswerten gerechnet wird, kann der Einfluss der Bewehrung näherungsweise wie folgt berücksichtigt werden:

$$f_{I0} = f_{I0,\text{Brutto}} / K_I \quad \text{mit } 1/K_I \text{ nach Bild 3} \quad (\text{konservativ } 1/K_I = 1)$$

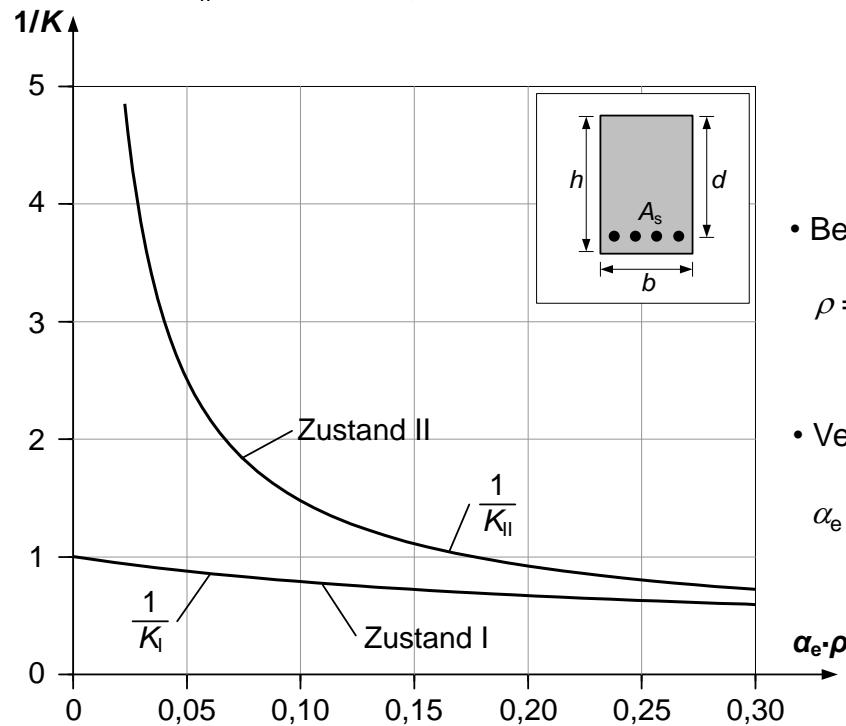
K_f = Faktor zur näherungsweisen Erfassung von Rissbildung, Kriechen und Schwinden

$$K_f = \frac{K_s \cdot (1 + \varphi_\infty)}{K_{II}} \quad \text{mit:}$$

$$K_s \approx 1,2 \quad (\text{Schwinden})$$

$$\varphi_\infty \text{ nach [1F], Anhaltswerte: } \begin{array}{ll} 2,5 & \text{Innenbauteile} \\ 0,7 \cdot 2,5 & \text{Außenbauteile} \end{array} \quad (\text{Kriechen})$$

$$1/K_{II} \text{ Abschätzung nach Bild 3} \quad (\text{Rissbildung})$$



- Bewehrungsgrad:

$$\rho = \frac{A_s}{b \cdot d}$$

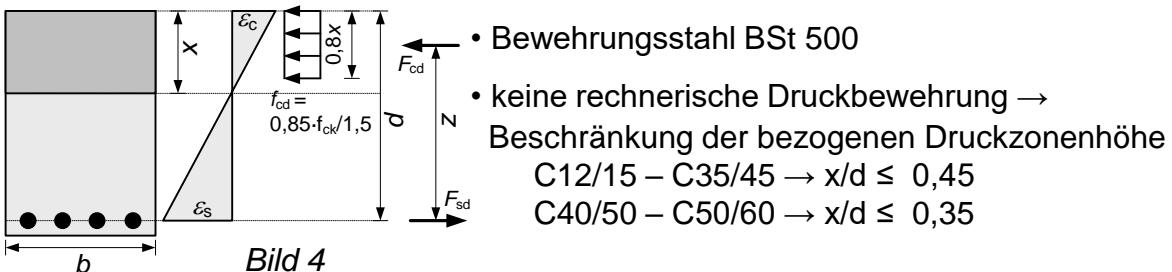
- Verhältnis der E-Moduln:

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_b} \quad \begin{array}{l} (\text{Betonstahl}) \\ (\text{Beton}) \end{array}$$

(b) Tragfähigkeit - Biegung

Für die Vordimensionierung erfolgt die Feststellung der Momententrägfähigkeit für den Zustand, der durch Ausnutzung der Betonfestigkeit (keine Druckbewehrung erforderlich) gekennzeichnet ist [30].

Bauteile mit Rechteckquerschnitt

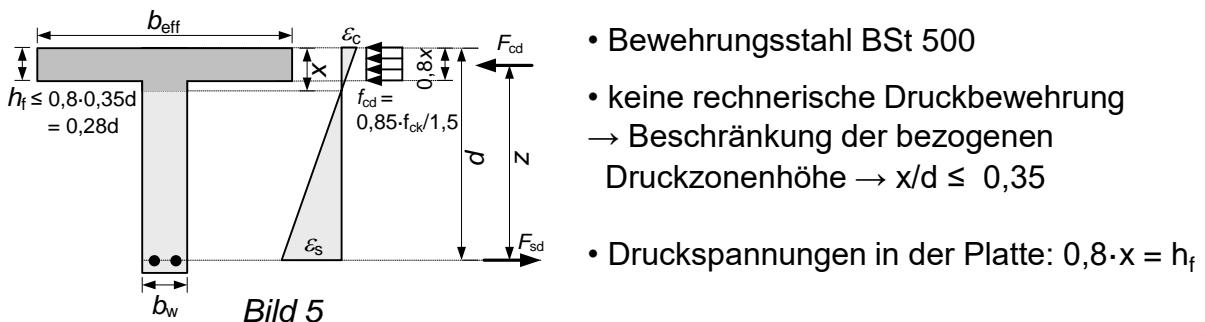


$$\max M_{Ed} = \begin{cases} 167 \\ 137 \end{cases} \cdot f_{ck} \cdot b \cdot d^2 \Leftrightarrow \min d = \sqrt{\frac{M_{Ed}}{b \cdot f_{ck}}} \cdot \begin{cases} 1/167 \\ 1/137 \end{cases} \text{ für } \begin{cases} \text{C12/15–C35/45} \\ \text{C40/50–C50/60} \end{cases}$$

$$\text{erf. } A_s \approx \frac{\max M_{Ed}}{36d}$$

M [kNm]; f_{ck} [N/mm²]; d [m]; A_s [cm²]

Bauteile mit Plattenbalkenquerschnitt



$$\max M_{Ed} = \alpha_f \cdot f_{ck} \cdot b \cdot d^2 \Leftrightarrow \min d = \sqrt{\frac{M_{Ed}}{\alpha_f \cdot b \cdot f_{ck}}}$$

$$\text{erf. } A_s \approx \alpha_{fs} \cdot \frac{\max M_{Ed}}{d}$$

α_f und α_{fs} aus Bild 6

M [kNm]; f_{ck} [N/mm²]; d, b_{eff} [m]; A_s [cm²]

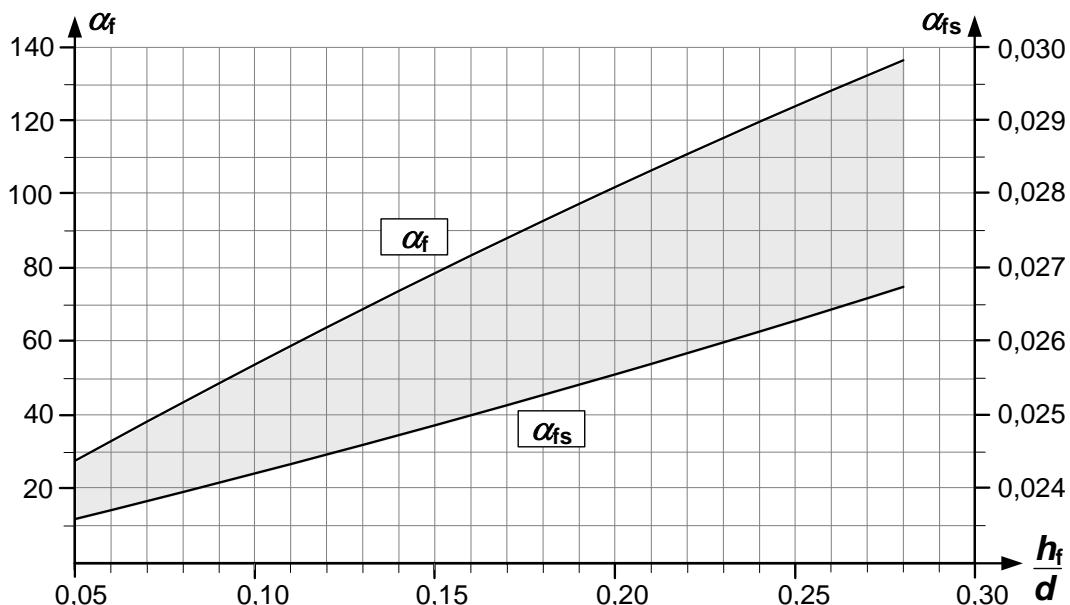


Bild 6

2. Platten (Decken/Dächer)

Hier ist die Plattenhöhe die bestimmende Entwurfsgröße. Für ihre Dimensionierung wird bei hauptsächlich biegebeanspruchten Bauteilen i.d.R. der Nachweis der Verformungsbeschränkung im GZG oder der Nachweis der Biegetragfähigkeit im GZT maßgebend. Für punktgestützte Flachdecken kann zudem der Durchstanzwiderstand maßgebend sein.

(a) Verformungsbeschränkung

→ siehe Balken

Begrenzung der Biegeschlankheit

als überschlägiger Nachweis der Verformung ohne direkte Berechnung nach [4] mit Modifikationen nach [28]

$$\text{erf } d = I_i / \lambda_i \cdot k_c$$

mit:

$$I_i = \eta_i I_{\text{eff}} \quad \text{ideelle Stützweite nach Bild 7}$$

$$\lambda_i \quad \text{Grenzschlankheit nach Bild 8}$$

$$k_c = (f_{ck0} / f_{ck})^{1/6} \quad \text{dabei } f_{ck0} = 20 \text{ N/mm}^2$$

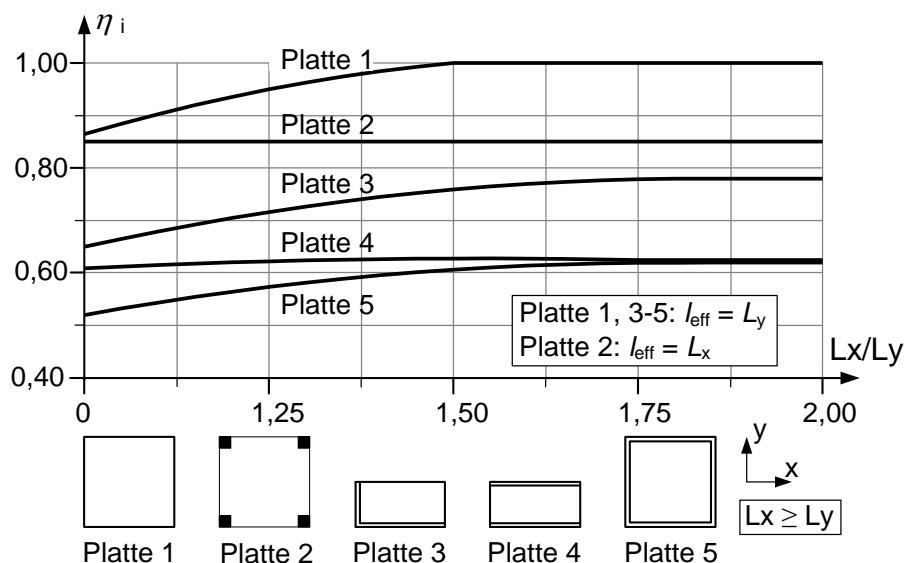


Bild 7

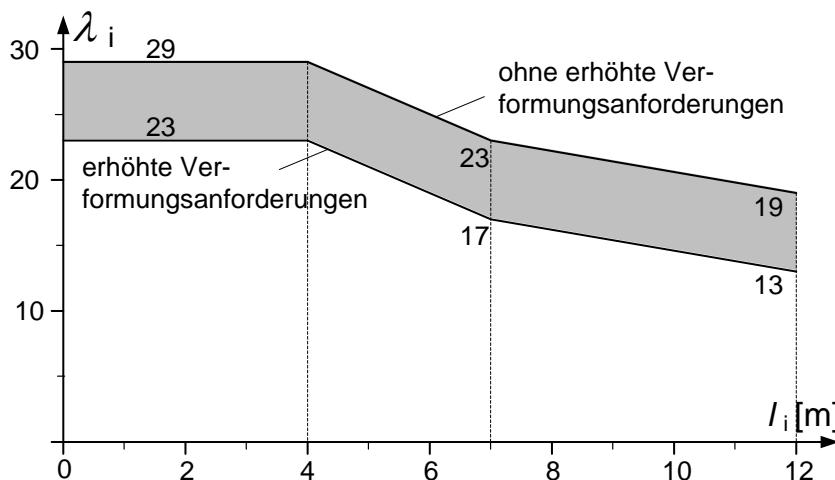


Bild 8

Abschätzung der Durchbiegung

→ siehe Balken

(b) Tragfähigkeit - Biegung

→ siehe Balken

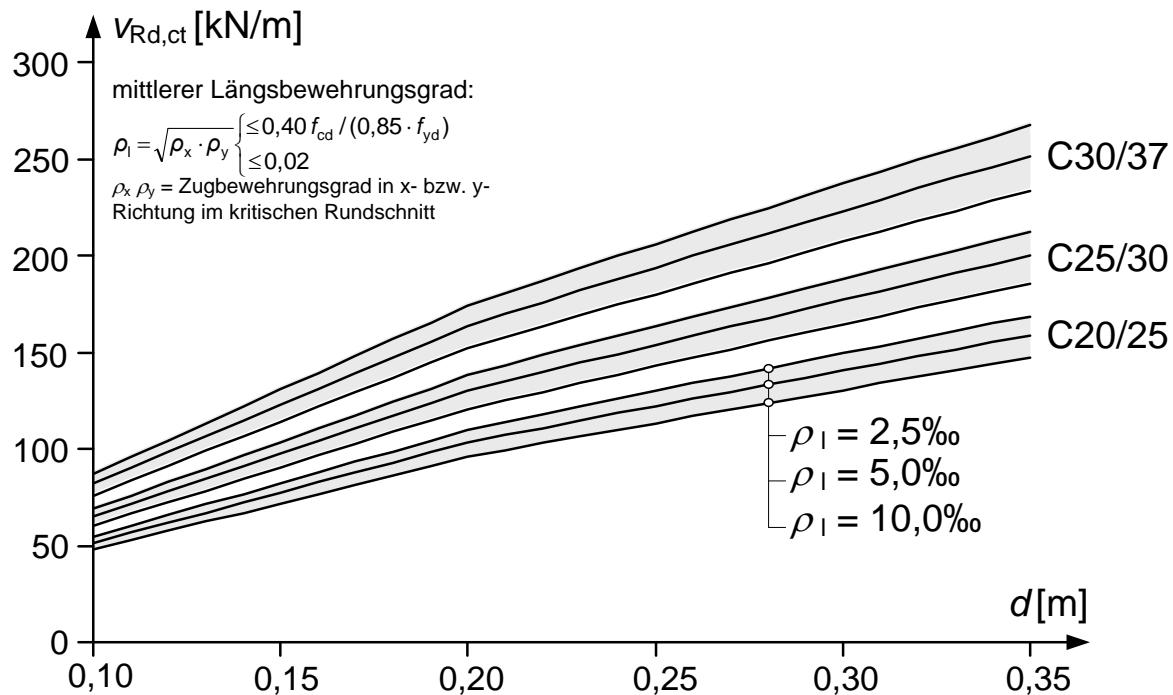
$$\max. m_{\text{Ed}} = \begin{cases} 167 \\ 137 \end{cases} \cdot f_{ck} \cdot d^2 \Leftrightarrow \min. d = \sqrt{\frac{m_{\text{Ed}}}{f_{ck}}} \cdot \begin{cases} 1/167 \\ 1/137 \end{cases} \quad \text{für } \begin{cases} \text{C12/15} - \text{C35/45} \\ \text{C40/50} - \text{C50/60} \end{cases}$$

$$\text{erf. } a_s = \frac{m_{\text{Ed}}}{36d}$$

m [kNm/m]; f_{ck} [N/mm²]; d [m]; a_s [cm²/m]

(c) Tragfähigkeit – Durchstanzen (Flachdecken)

Tragfähigkeit nach [4] ohne Durchstanzbewehrung



$$\text{Nachweis: } v_{Ed} = \frac{\beta V_{Ed}}{u} \leq v_{Rd,ct}$$

mit:

u Umfang des kritischen Rund schnitts

β Beiwert

d statische Nutzhöhe der Deckenplatte

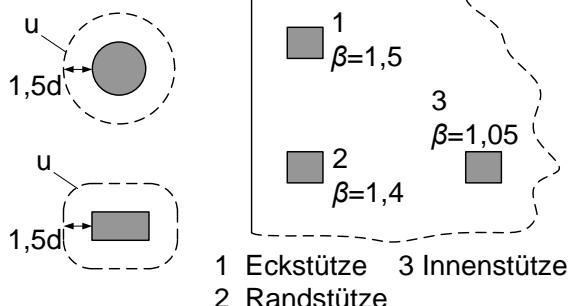


Bild 9

(d) Mindestdicken

nach [1]

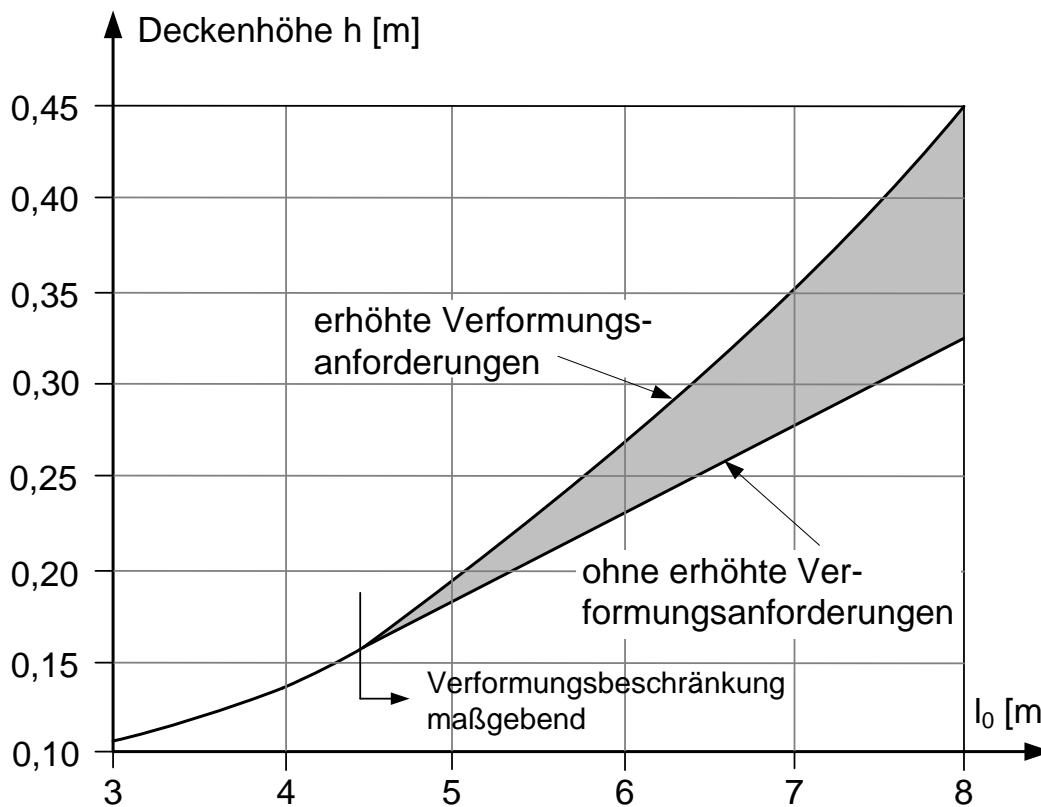
$h \geq 70 \text{ mm}$ - allgemein

$h \geq 160 \text{ mm}$ - Platten mit Querkraftbewehrung (aufgebogen)

$h \geq 200 \text{ mm}$ - Platten mit Querkraftbewehrung (Bügel) oder Durchstanzbewehrung

(e) kombiniertes Diagramm

nach [30] für eine erste Abschätzung



durchlaufende Platte

Randfeld: $l_0 = 0,85 l$ Innenfeld: $l_0 = 0,70 l$ Einfeld-Platte: $l_0 = l$ $l = \text{Stützweite} [m]$

Bild 10

3. Weitere Dimensionierungshilfsmittel

Weitere Dimensionierungshilfsmittel für typische Konstruktionen des Hoch- und Brückenbaus können den Masterskripten „Industriebau-Bauwerke“ und „Grundlagen des Brückenbaus“ entnommen werden.

Literatur

- [1] DIN EN 1992-1-1: *Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton und Spannbetontragwerken - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau.* Deutsche Fassung. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2011
- [2] DIN EN 1992-1-1/NA: *Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter. Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton und Spannbetontragwerken - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau.* Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2011
- [3] Fingerloos, F.: *Eurocode 2 für Deutschland – Kommentierte Fassung.* Erste Auflage, Beuth Verlag, Berlin, 2012
- [4] DIN 1045: *Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Teil 1: Bemessung und Konstruktion,* Ausgabe August 2008, Beuth Verlag, 2008
- [5] Firmenprospekt der Readymix-Baustoffgruppe: *Beton in neuer Form EN 206,* Januar 2006
- [6] Leonhardt F.: *Vorlesung über Massivbau. Teil 3: Grundlagen zum Bewehren im Stahlbetonbau,* dritte Auflage, Springer Verlag, Berlin, 1977
- [7] Timm, G.: *Einfluss der Bewehrungsführung auf die Tragfähigkeit und Dauerhaftigkeit.* Institut für Stahlbetonbewehrung e.V.
- [8] Avak, R.: *Stahlbetonbau in Beispielen, Teil 1: Bemessung von Stabtragwerken,* Werner Verlag, 2004
- [9] DYWIDAG-Qualitätssicherung: *Dauerhafte Gebrauchstüchtigkeit von Stahlbetonbauten durch richtige Anordnung und Schutz der Bewehrung.* Ausgabe 12/89
- [10] Goris, A.: *Stahlbetonbau-Praxis nach Eurocode 2. Band 2,* 4. Auflage, Bauwerk-Basis-Bibliothek (BBB), Bauwerk Verlag GmbH, 2011
- [11] mb-news: *Bemessungstabellen; Bemessungs- und Konstruktionshilfen für Stahlbetonbauteile nach Eurocode 2.* mb AEC Software GmbH, 2012
- [12] mb-news: *Bemessungstabellen; Bemessungs- und Konstruktionshilfen für Stahlbetonbauteile aus Normalbeton nach DIN 1045-1 (07/01).* mb AEC Software GmbH, 2005
- [13] Rußwurm, D.: *Bewehren von Stahlbetontragwerken nach DIN 1045-1.* Institut für Stahlbetonbewehrung e.V., 2002
- [14] Zilch, K.; Zehetmaier, G.: *Bemessung im konstruktiven Betonbau.* Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 2006

Literatur

- [15] Schlaich, J.; Schäfer, K.: *Konstruieren im Stahlbetonbau*. Beton-Kalender 1998, Teil II, Ernst & Sohn Verlag, Berlin
- [16] Thürlmann, B.: *Anwendung der Plastizitätstheorie auf Stahlbeton*. Vorlesung zum Fortbildungskurs für Bauingenieure vom 13.-15. April 1983, Institut für Baustatik und Konstruktion ETH Zürich
- [17] Marti, P.: *Basic tools of reinforced concrete beam design*. ACI-Journal, Vol. 82, S. 46-56, Jan.-Feb. 1985
- [18] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (DAfStb): *Hilfsmittel zur Berechnung der Schnittgrößen und Formänderungen von Stahlbetontragwerken*. Heft 240, 3. überarbeitete Auflage, Beuth Verlag GmbH, Berlin, 1991
- [19] Leonhardt, F.: *Vorlesungen über Massivbau, Teil 2: Sonderfälle der Bemessung im Stahlbetonbau*. 3. Auflage, Springer-Verlag, 1986
- [20] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (DAfStb): *Erläuterungen zu DIN 1045-1*. Heft 525, Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2003
- [21] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (DAfStb): *Bewehrungsführung in Ecken und Rahmenendknoten*. Heft 354, Beuth Verlag GmbH, Berlin, 1984
- [22] Wommelsdorff, O.: *Stahlbetonbau – Bemessung und Konstruktion, Teil 2: Stützen, Sondergebiete des Stahlbetonbaus*. 7. Auflage, Werner Verlag, 2006
- [23] Avak, R.: *Stahlbetonbau in Beispielen - Teil 2*. Werner Verlag, 2005
- [24] Schneider, K.-J.: *Bautabellen für Ingenieure*. 16. Auflage, Werner Verlag, 2004
- [25] König, G.; Tue N. V. und Schenck, G.: *Grundlagen des Stahlbetonbaus*. 3. Auflage, Vieweg + Teubner, 2008
- [26] Goris, A.: *Stahlbetonbau-Praxis nach Eurocode 2. Band 1*, 4. Auflage, Bauwerk-Basis-Bibliothek (BBB), Bauwerk Verlag GmbH, 2011
- [27] Goris, A.: *Stahlbetonbau-Praxis nach DIN 1045 neu. Band 2*, 3. Auflage, Bauwerk-Basis-Bibliothek (BBB), Bauwerk Verlag GmbH, 2008
- [28] Krüger, W.; Mertzsch, O.: *Zur Verformungsbegrenzung von überwiegend auf Biegung beanspruchten Stahlbetonquerschnitten*. Beton- und Stahlbetonbau 97 (2002), Heft 11, S. 584-589, Ernst & Sohn, Berlin, 2002
- [29] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (DAfStb): *Bemessungshilfsmittel zu Eurocode 2 Teil 1*. Heft 425, Beuth Verlag GmbH, Berlin, 1992
- [30] Pauser, A.: *Beton im Hochbau*. Verlag Bau+Technik GmbH, Düsseldorf, 1998
- [31] Trost, H.; Mainz, B.: *Zweckmäßige Ermittlung der Durchbiegungen von Stahlbetonträgern*. Beton- und Stahlbetonbau 64 (1969), Heft 6, S. 142-146, Ernst & Sohn, Berlin, 1969

Literatur

- [32] Drucker, D. C.; Greenberg, H. J. und Prager, W.: *The Safety Factor of an Elastic-Plastic Body in Plane Strain*. Journal of Applied Mechanics, S. 371-378, 1951
- [33] Muttoni, A.; Schwartz, J. und Thürlmann, B.: *Bemessung von Betontragwerken mit Spannungsfeldern*. Birkhäuser Verlag, Basel, 1997
- [34] Grasser, E.; Thielen, G.: *Hilfsmittel zur Berechnung der Schnittgrößen und Formänderungen von Stahlbetontragwerken nach DIN 1045 Ausgabe Juli 1988*. (DAfStb-Heft 240) 3. Auflage, Ernst & Sohn, Berlin, 1991
- [35] Putke, T.; Bergmeister, K.; Mark, P.: *Wirtschaftliches Konstruieren und Bewehren*. Beton-Kalender, Teil I, Ernst & Sohn Verlag, Berlin
- [36] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (DAfStb): *Hilfsmittel zur Schnittgrößenermittlung und zu besonderen Detailnachweisen bei Stahlbetontragwerken*. Heft 631 (Neuausgabe Heft 240), Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2019.