
Programm Woche 35

Prof. Beat Noser	Einleitung Überblick über Norm 262 Wichtige Änderungen Anwendungsbeispiel
Pause	18.30 – 18.50
Dr. Maurice Brunner	Kombinierte Beanspruchung Biegung, Querkraft und Torsion am Beispiel eines Kastenträgers
Prof. Beat Noser	Kastenträger mit Vorspannung im Verbund



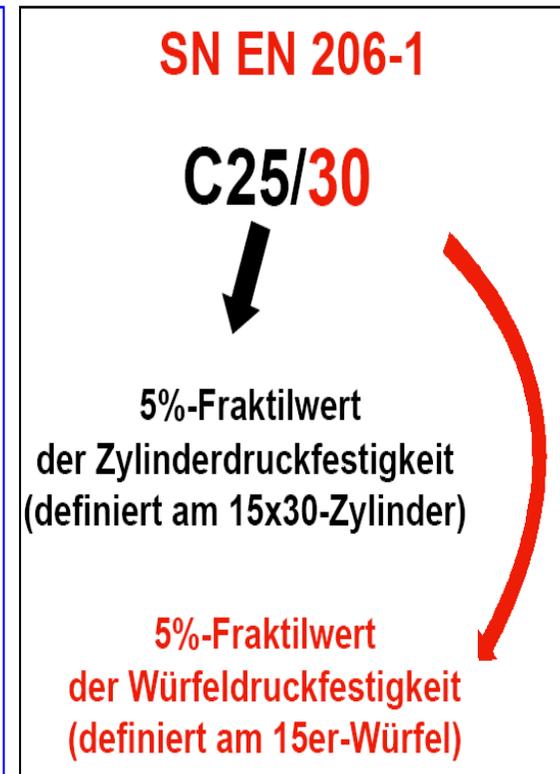
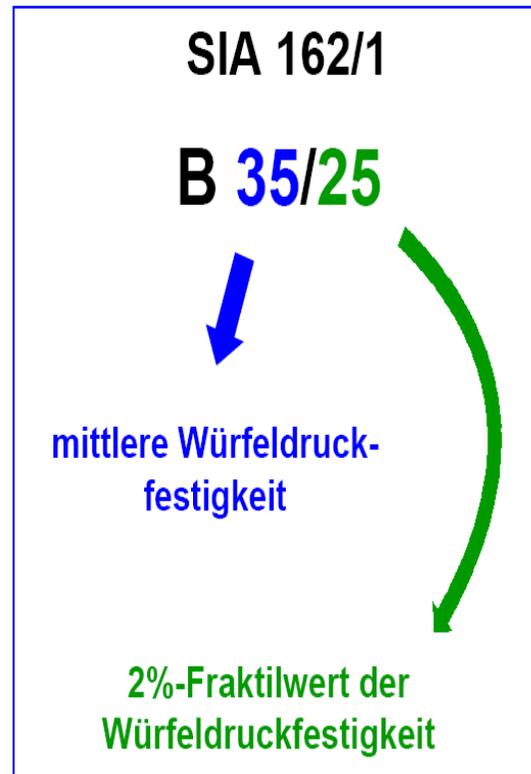
Stahlbeton nach SIA 262

Was ist neu?

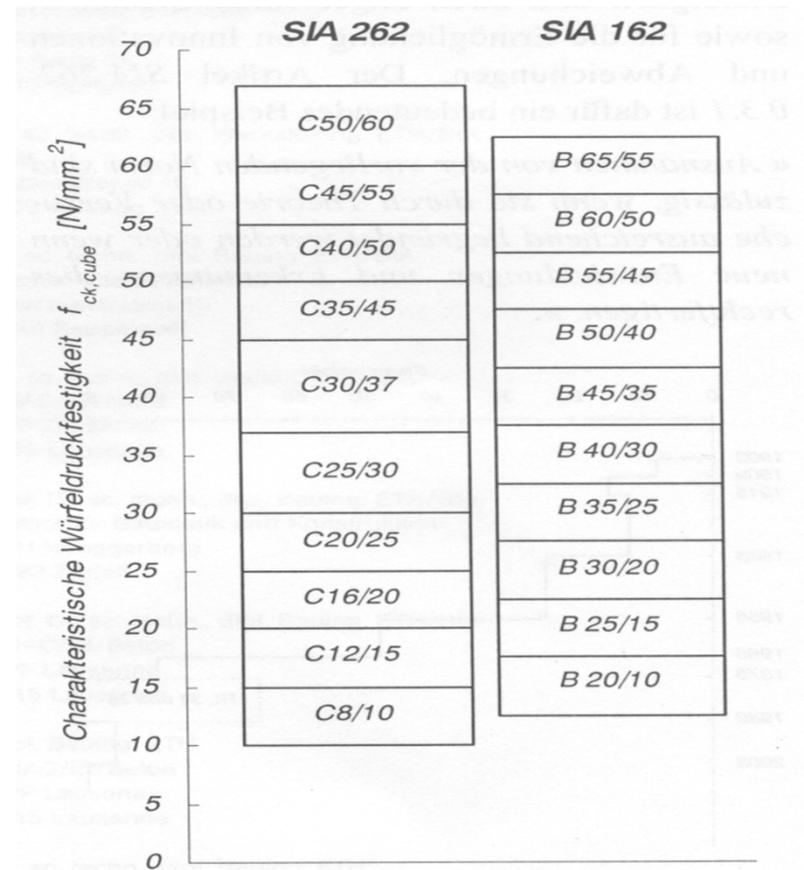
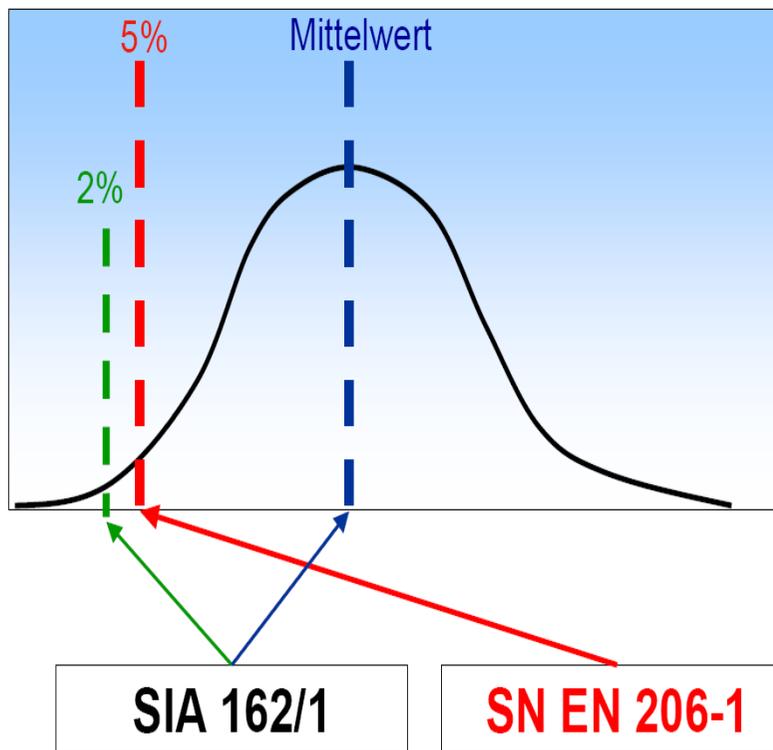


- Betonbezeichnungen
- Stahlbezeichnungen
- Mindestwert der Betondruckfestigkeit
- Widerstandsbeiwerte γ
- Expositionsklassen
- Schubemessung
-

Definition der Druckfestigkeitsklassen



Änderung Fraktilwert ⇒ Alte Werte sind „besser“



Bemessungswert der Betondruckfestigkeit

SIA 162

B 45/35

$$f_c = 0.65 * 35 = 23$$

$$f_{cd} = 23/1.2 = 19.2 \text{ N/mm}^2$$

SIA 262

C 30/37

f_c = nicht definiert

$$f_{cd} = 30/1.5 = 20 \text{ N/mm}^2$$

Merke: $\gamma_c = 1.5$

**Grundlage für die Bemessungswerte in SIA 262
ist ausschliesslich die Zylinderdruckfestigkeit**

Bemessungswert der Betondruckfestigkeit

SIA 262

C 30/37

$$f_{cd} = 30/1.5 = 20 \text{ N/mm}^2$$

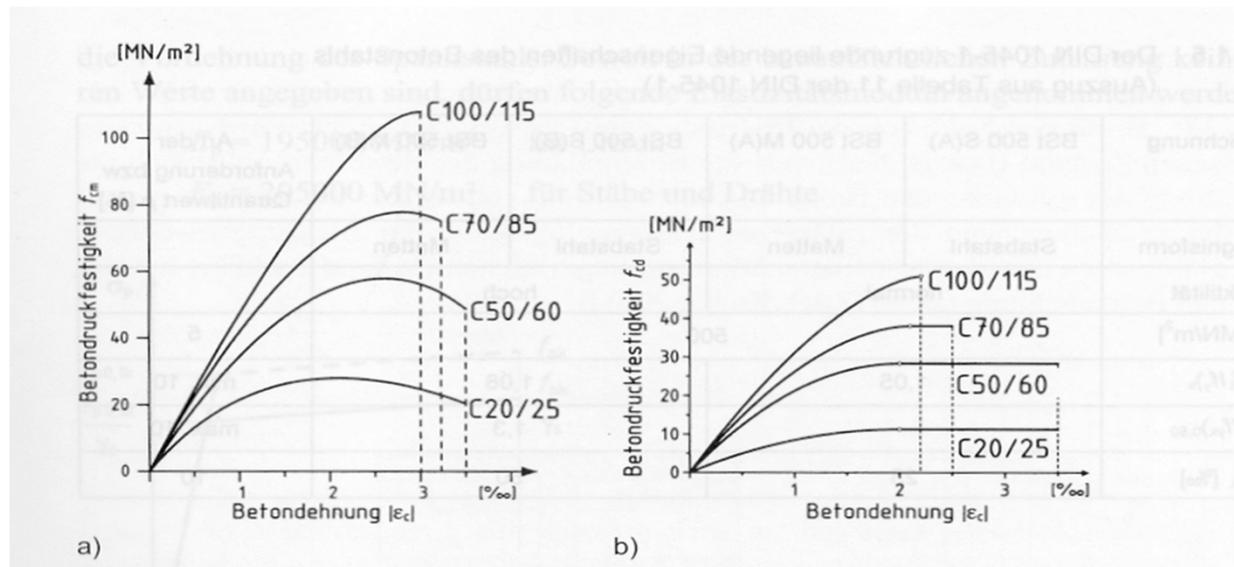
Für Beton gilt: Widerstandsbeiwert $\gamma_c = 1.5$ (2.3.2.6)

Achtung: Bei Betonfestigkeiten $> C30/37$ muss der Korrekturfaktor η_{fc} berücksichtigt werden. (2.3.2.3)

$$f_{cd} = \frac{\eta_{fc} \cdot f_{ck}}{\gamma_c} \quad \text{mit} \quad \eta_{fc} = \left(\frac{30}{f_{ck}} \right)^{1/3} \leq 1.0 \quad (4.2.1.2)$$

Spannungs-Dehnungs-Beziehung

Grund: Der Faktor η_{fc} berücksichtigt das sprödere Bruchverhalten von Beton höherer Festigkeit.



Wirklichkeitsnahe
Spannungs-Dehnungs-
Beziehung

Parabel-Rechteck-Diagramm
für die Querschnittsbemessung
(DIN 1045-1)

Bemessungswerte SIA 262

Tabelle 8

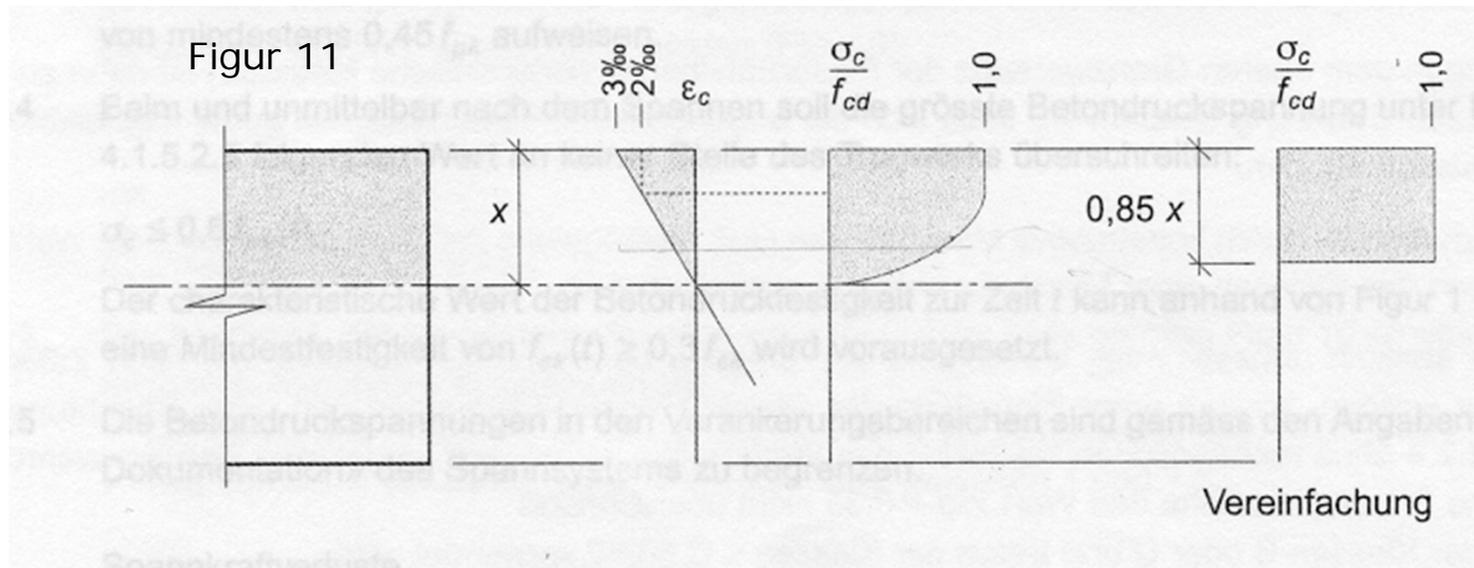
Beton	C 12/15	C 16/20	C 20/25	C 25/30	C 30/37	C 35/45	C 40/50	C 45/55	C 50/60	C .../...
f_{cd} [N/mm ²]	8,0	10,5	13,5	16,5	20,0	22,0	24,0	26,0	28,0	Gl. (2)
τ_{cd} [N/mm ²]	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,25	1,35	1,40	Gl. (3)
ϵ_{c1d} [-]	0,002									
ϵ_{c2d} [-]	0,003									

$$f_{cd} = \frac{\eta_{fc} \cdot f_{ck}}{\gamma_c} \quad (2.3.2.3)$$

$$\tau_{cd} = \frac{0.3 \cdot \sqrt{f_{ck}}}{\gamma_c} \quad (2.3.2.4)$$

Die Materialkennwerte sind nur auf Niveau d definiert!

Spannungs-Dehnungs-Beziehung



mit $\frac{\sigma_c}{f_{cd}} = \frac{k_\sigma \cdot \zeta - \zeta^2}{1 + (k_\sigma - 2) \cdot \zeta}$ und $k_\sigma = \frac{E_{cd}}{400 \cdot f_{cd}}$; $\zeta = \frac{\epsilon_c}{\epsilon_{c1d}}$ (4.2.1.6) Formel (26)

$$E_{cm} = k_E \cdot \sqrt[3]{f_{cm}} ; \quad f_{cm} = f_{ck} + 8$$

Betonstahl SIA 262 Kapitel 3.2



- Bezeichnungen
- Duktilitätsklassen
- Fließgrenze f_{sk}
(charakteristischer Wert)
- Widerstandsbeiwert γ_s

Duktilität

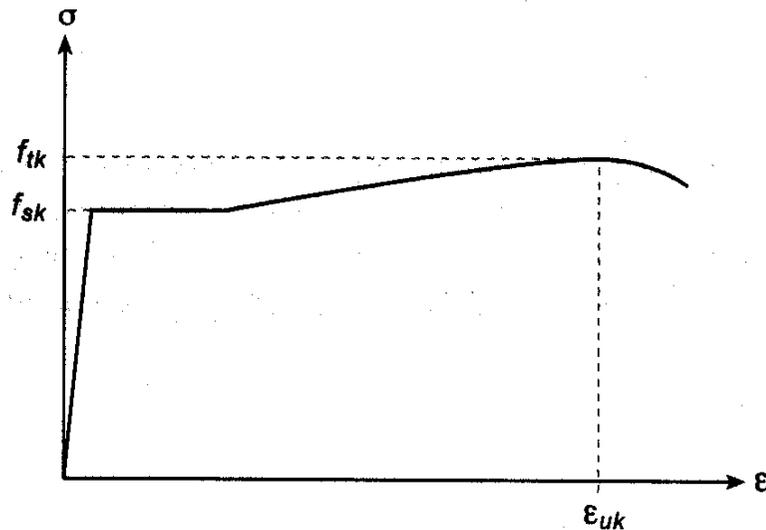


- Duktilitätsklasse A
B500A $\epsilon_{uk} \geq 2.5 \%$
- Duktilitätsklasse B
B500B $\epsilon_{uk} \geq 5.0 \%$
- Duktilitätsklasse C
B450C $\epsilon_{uk} \geq 7.5 \%$

(Tabelle 5 / S.31)

Duktilität bedeutet, dass ein Bauteil ein ausreichendes Verformungsvermögen besitzt, ohne an Tragfähigkeit zu verlieren. Insbesondere sollen auch Ereignisse wie Explosion, Aufprall und Erdbeben nicht zum Einsturz des Tragwerkes führen.

Bemessungswerte für Betonstahl



(Figur 4 /31)

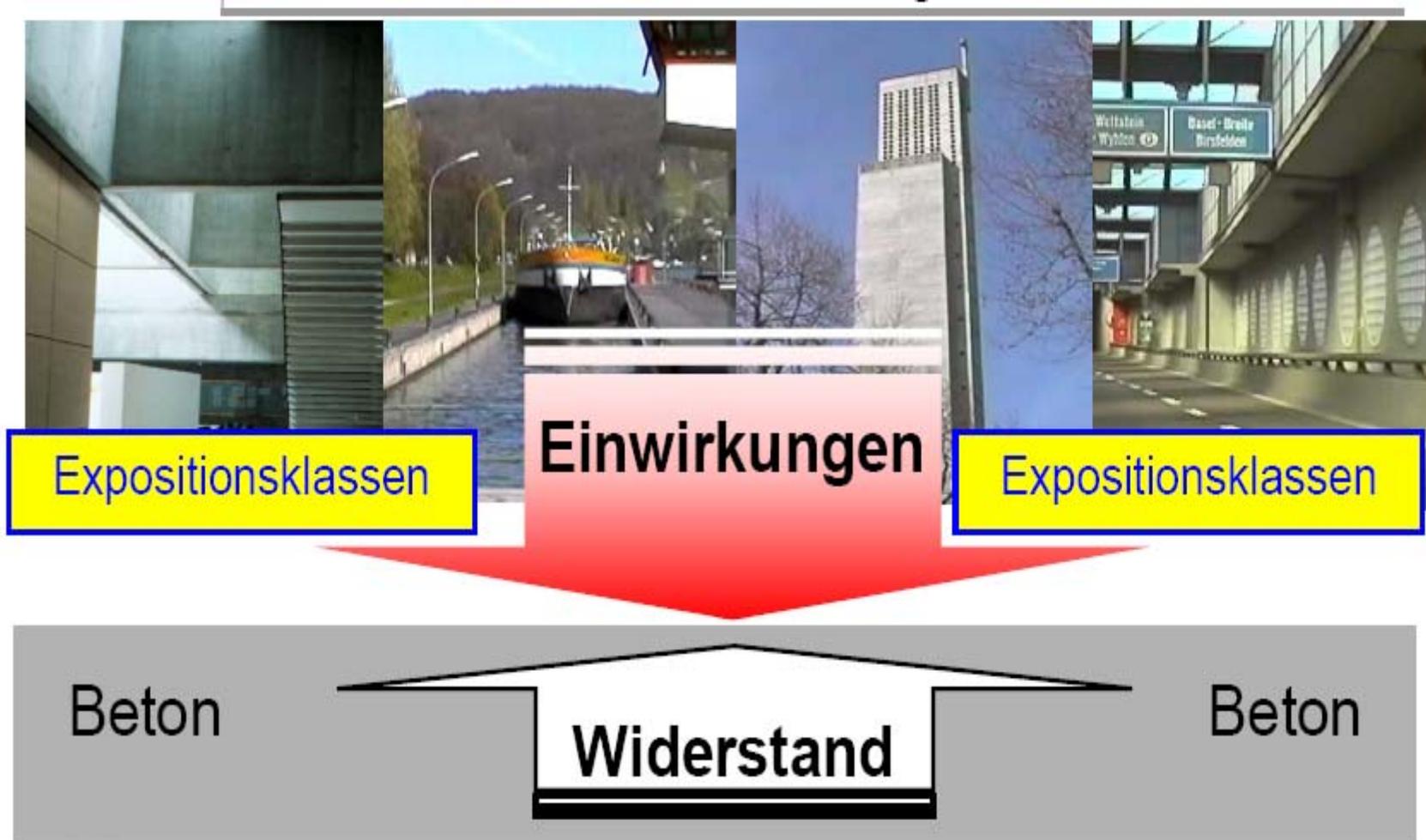
- B500A + B500B
Fließgrenze:
 $f_{sk} = 500 \text{ N/mm}^2$
Bemessungswert
 $f_{sd} = 500/1.15 = 435 \text{ N/mm}^2$
- B450C
Fließgrenze:
 $450 \leq f_{sk} \leq 550 \text{ N/mm}^2$
Bemessungswert
 $f_{sd} \geq 390 \text{ N/mm}^2$



Elastizitätsmodul E_s 205 N/mm²

(3.2.2.4)

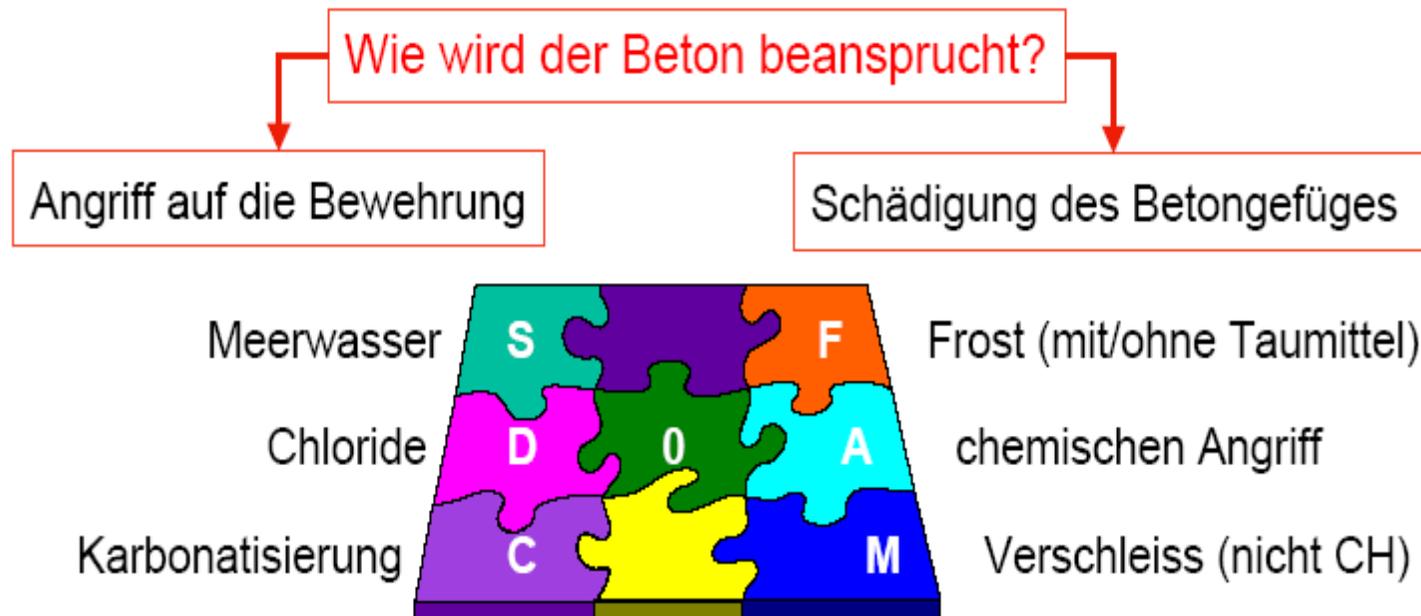
Expositionsklassen, Tabelle 1 SIA 262



Expositionsklassen

Was sind Expositionsklassen ?

- Sie beschreiben den Angriff der Umwelt auf den Beton.
- Expositionsklassen beziehen sich somit auf die Umweltbedingungen.



XC Karbonatisierung XC1 \Rightarrow XC4

(engl. carbonatisation)



XC1

**Beton mit Bewehrung:
trocken oder ständig nass**

- **Beton in Gebäuden mit geringer Luftfeuchtigkeit
(z.B. Bauteile Innenräume, Wohnungen)**
- **Beton, der ständig in Wasser / Grundwasser getaucht ist**

XC Karbonatisierung XC1 \Rightarrow XC4

(engl. carbonatisation)



XC2

**Beton mit Bewehrung:
nass, selten trocken**

- langfristig benetzte Oberflächen
(z.B. Teile von Wasserbehältern, Becken)
- häufig Gründungsbauteile

XC Karbonatisierung XC1 \Rightarrow XC4

(engl. carbonatisation)



XC3

**Beton mit Bewehrung:
mässige Feuchte**

- Beton in Gebäuden mit mässiger bis hoher Luftfeuchtigkeit (z.B. offene Hallen, Feuchträume, Hallenbäder etc.)
- Beton im Freien, vor Regen geschützt

XC Karbonatisierung XC1 \Rightarrow XC4

(engl. carbonatisation)



XC4

**Beton mit Bewehrung:
wechselnd nass und trocken**

- wasserbenetzte Oberflächen, die nicht der Klasse XC2 zuzuordnen sind
- Aussenbauteile mit direkter Bewitterung

XD Chloride XD1 \Rightarrow XD3

(engl. deicing salt)



XD1

**Beton mit Bewehrung:
mässige Feuchte**

- **Betonoberflächen, die chloridhaltigem Sprühnebel ausgesetzt sind (Sprühnebelbereich von Verkehrsflächen)**

XF Frosteinwirkung XF1 \Rightarrow XF4

(engl. freeze)



XF1

**mässige Wassersättigung
ohne Taumittel**

- **senkrechte Betonoberflächen,
die Regen und Frost ausgesetzt sind**

XF Frosteinwirkung XF1 \Rightarrow XF4

(engl. freeze)



XF2

**mässige Wassersättigung
mit Taumittel**

- **senkrechte Betonoberflächen von Strassenbauwerken, die taumittelhaltigem Sprühnebel, Regen und Frost ausgesetzt sind**

XF Frosteinwirkung XF1 \Rightarrow XF4

(engl. freeze)



XF4

**hohe Wassersättigung
mit Taumittel**

- **Strassendecken und Brückenplatten, die Taumitteln ausgesetzt sind**
- **horizontale Betonoberflächen, die taumittelhaltigen Sprühnebeln und Frost ausgesetzt sind**

XA Chemischer Angriff XA1 \Rightarrow XA3

(engl. chemical acid)



XA1	chemisch <u>schwach</u> angreifende Umgebung nach Tabelle 2 z.B. Kläranlagen, Jauchegruben
XA2	chemisch <u>mässig</u> angreifende Umgebung nach Tabelle 2 z.B. Bauteile in sulfathaltigem Grundwasser, betonangreifenden Böden
XA3	chemisch <u>stark</u> angreifende Umgebung nach Tabelle 2 z.B. Industrieabwasseranlagen, Gärfuttersilos

XA Chemischer Angriff XA1 \Rightarrow XA3

(engl. chemical acid)

chemisches Merkmal	XA1	XA2	XA3
SO ₄ ²⁻ (Sulfat) mg/l	≥200 und ≤600	>600 und ≤3000	>3000 und ≤6000
pH-Wert	≤6.5 und ≥5.5	<5.5 und ≥4.5	<4.5 und ≥4.0
CO ₂ angreifend mg/l	≥15 und ≤40	>40 und ≤100	>100 bis zur Sättigung
NH ₄ ⁺ (Ammonium) mg/l	≥15 und ≤30	>30 und ≤60	>60 und ≤100

Tabelle 2

SN EN 206-1 Beton - Teil 1

Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität

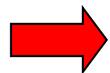
Expositionsklasse und Konstruktion

Betondeckung mm	Expositionsklasse gemäss Tabelle 1 SIA 262						
	Korrosion in karbonatisiertem Beton				Korrosion induziert durch Chloride		
	XC1	XC2	XC3	XC4	XD1	XD2	XD3
Verbund	> max. Gesteinskörnung bzw. max. Stabdurchmesser						
Betonstahl	20	35	40	40	55		
Spannstahl	30	45	50	50	65		

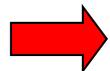
Tabelle 17 / S. 70

Expositionsklasse und Konstruktion

Betondeckung mm	Expositionsklasse gemäss Tabelle 1 SIA 262						
	Korrosion in karbonatisiertem Beton				Korrosion induziert durch Chloride		
	XC1	XC2	XC3	XC4	XD1	XD2	XD3
Verbund	> max. Gesteinskörnung bzw. max. Stabdurchmesser						
Betonstahl	20	35	40	40	55		
Spannstahl	30	45	50	50	65		



Die Werte der Norm sind Nominalwerte



Toleranzen Anhang A3 der Norm + 10 mm; - 0 mm !!

Beton nach Eigenschaften gemäss SN EN 206-1

- Druckfestigkeitsklasse
- Expositionsklasse
- Konsistenzklasse bzw. Zielwert
- Nennwert des Grösstkorns
- Chloridgehaltsklasse

Klasse Festigkeits- Druck	Klasse Expositions-	Korn Grösst-	Klasse Gehalts- Chlorid-	Klasse Konsistenz-
C50/30	XF1 XC2	D ^{max=35}	Cl 0,50	C3

(3.1.1.2.3)

Beton für eine bewitterte Wand im Hochbau (Aussenwand)

Alt:

B 35/25

0 - 32 mm

CEM I 42.5 300 kg/m³

KR

Neu:

C20/25

XC4, XF1 (CH)

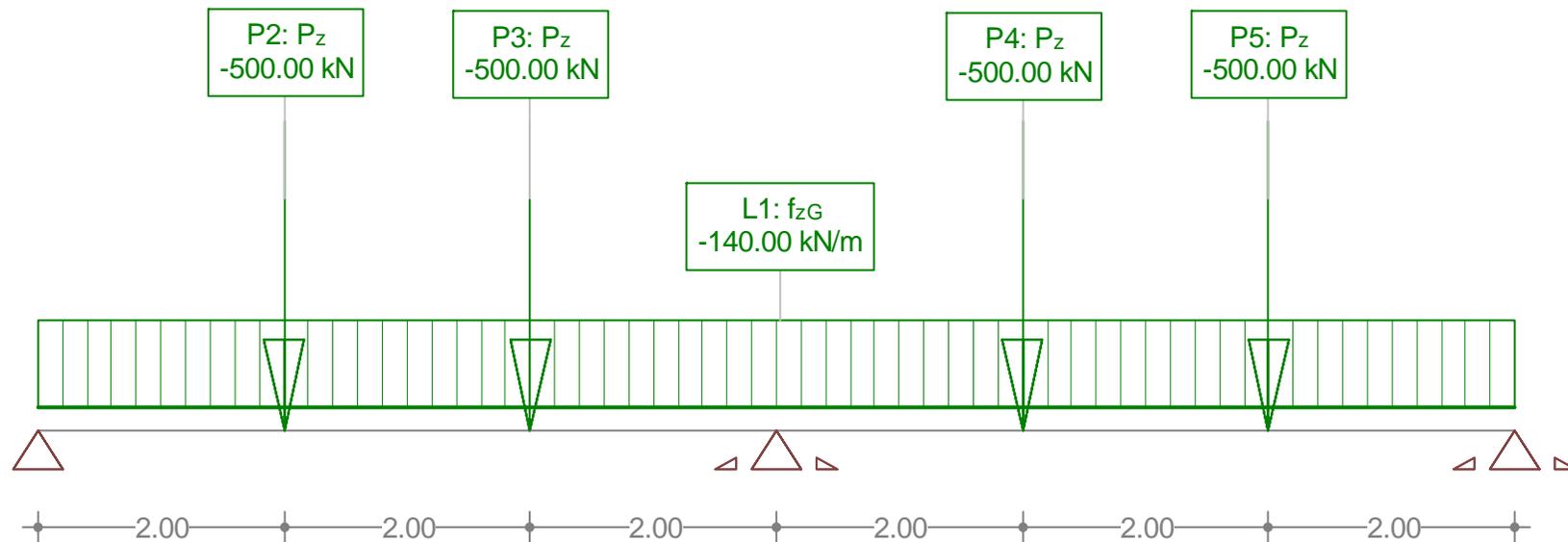
CI 0.20

D_{max32}

C2

Anwendungsbeispiel

- Fassadenträger
 - Statische Funktion: Abfangträger
 - System und Belastung (alle Lasten auf Bemessungsniveau d)



Anwendungsbeispiel Fassadenträger

- Expositionsklasse
Aussenbauteil an einer innerstädtischen Hochleistungsstrasse



Anwendungsbeispiel Fassadenträger

- Exposition
Aussenbauteil an einer innerstädtischen Hochleistungsstrasse
 - Aussenbauteil mit direkter Bewitterung ⇒ XC4

Anwendungsbeispiel Fassadenträger

- Exposition

Aussenbauteil an einer innerstädtischen Hochleistungsstrasse

- Aussenbauteil mit direkter Bewitterung ⇒ XC4
- Im Sprühnebelbereich von Verkehrsflächen ⇒ XD1

Anwendungsbeispiel Fassadenträger

- Exposition

Aussenbauteil an einer innerstädtischen Hochleistungsstrasse

- Aussenbauteil mit direkter Bewitterung ⇒ XC4
- Im Sprühnebelbereich von Verkehrsflächen ⇒ XD1
- Aussenbauteil Frost mit Tausalzsprühnebel ⇒ XF2

Anwendungsbeispiel Fassadenträger

- Exposition

Aussenbauteil an einer innerstädtischen Hochleistungsstrasse

- Aussenbauteil mit direkter Bewitterung ⇒ XC4
- Im Sprühnebelbereich von Verkehrsflächen ⇒ XD1
- Aussenbauteil Frost mit Tausalzsprühnebel ⇒ XF2



Expositionsklasse XC4, XD1 XF2 (Tabelle 1 /22)

Anwendungsbeispiel Fassadenträger

- Expositionsklasse XC4, XD1 XF2

- Eisenüberdeckung $\bar{u} = 40 \text{ mm}$ (Tabelle 17) SIA 262 (5.2.2.4)

- Geeignete Zementsorten CEM I; CEM II/A-D
 - Beton empfohlen C30/37

} SN EN 206-1
Tabelle NA.3
Tabelle F.1

- Stahl gewählt B500B



Schnittkraftumlagerung verlangt B500B oder B450C (4.1.4.2.5)

Beton: Festigkeit und Expositionsklasse

Bestell- Nummer	Betontyp nach NPK	Festigkeits- klasse	Expositions- klasse	Grösst- korn D max. mm	Konsistenz Zielwert ± 0.08	Besondere Eigen- schaften	Preis ab Werk Fr. / m ³	Preis ab Werk Fr. / m ³
Kranbeton 0 – 16 mm								
A260-0	A	C25/30	XC1;XC2	16	1.11		134.—	135.—
C360-0	C	C30/37	XC4	16	1.11	WD	145.—	146.—
Pumpbeton 0-16 mm								
A261-0	A	C25/30	XC1;XC2	16	1.08		138.—	139.—
C361-0	C	C30/37	XC4	16	1.08	WD	149.—	150.—
Kranbeton 0-32 mm								
A230-0	A	C25/30	XC1;XC2	32	1.11		125.—	126.—
B230-0	B	C25/30	XC3	32	1.11		128.—	129.—
C330-0	C	C30/37	XC4	32	1.11	WD	138.—	139.—
Pumpbeton 0-32 mm								
A231-0	A	C25/30	XC1;XC2	32	1.08		128.—	129.—
B231-0	B	C25/30	XC3	32	1.08		131.—	132.—
C331-0	C	C30/37	XC4	32	1.08	WD	142.—	143.—
F331-0	F	C30/37	XF4	32	1.08	FT	175.—	176.—
Homogenbeton 0-32 mm								
B334-0	B	C30/37	XC3	32	1.08	Pump	140.—	141.—
C334-0	C	C30/37	XC4	32	1.08	Pump WD	148.—	149.—
Fließbeton								
A262-0	A	C25/30	XC1;XC2	16	F5 540		158.—	159.—
A232-0	A	C25/30	XC1;XC2	32	F5 540		149.—	150.—

Betonsorten für weitere Expositionsklassen auf Anfrage

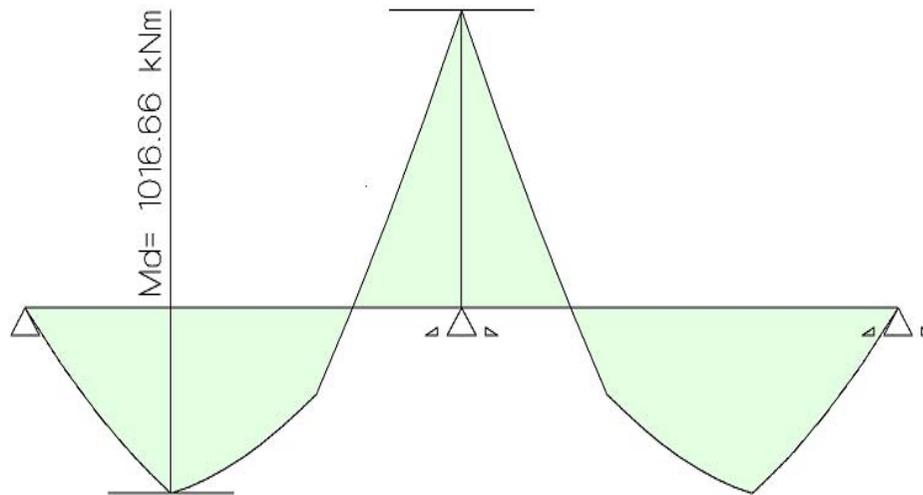
Konsistenz Zielwert
 CZ 1.11 +/- 0.08 = 1.03 - 1.19 (gemäss Norm EN 206-1; Seite 30)
 Kranbeton 1.08 - 1.19 individuelle werksinterne Empfehlung
 Pumpbeton 1.03 - 1.12 individuelle werksinterne Empfehlung

Festigkeitsentwicklung mittel (=m)
Chloridklasse für alle Sorten 0.10

Anwendungsbeispiel Fassadenträger

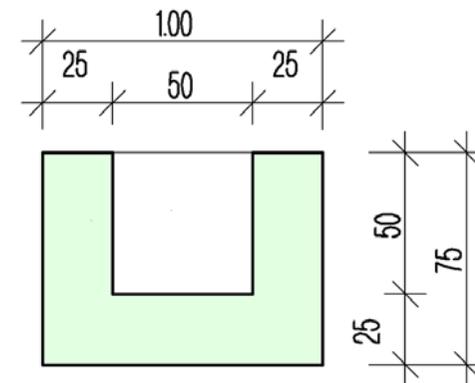
- Bemessungsmomente M_d

Feld $M_d = 1017 \text{ kNm}$
Stütze $M_d = -1630 \text{ kNm}$



Annahme:

$H_{\text{erforderlich}} \approx 75 \text{ cm}$



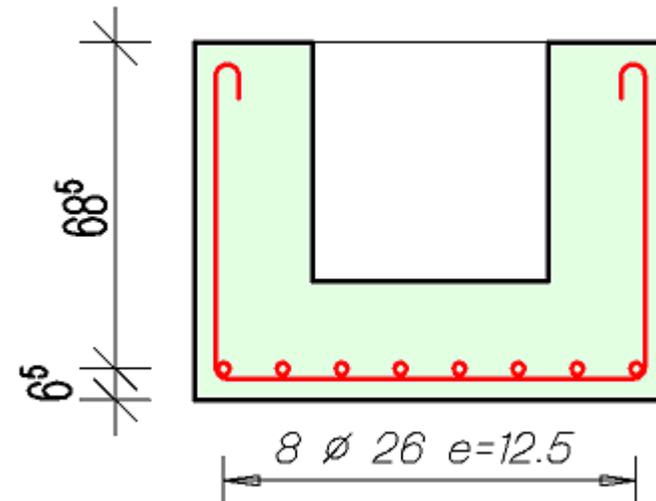
Anwendungsbeispiel Fassadenträger

- Biegebemessung Feld:

$$\text{Feld } M_d = 1017 \text{ kNm}$$

$$A_S \approx \frac{M_d}{0.9 \cdot d \cdot f_{sd}} = \frac{1017 \cdot 10^6}{0.9 \cdot 690 \cdot 435} = 3770 \text{ mm}^2$$

- Gewählt: 8 \varnothing 26;
 $A_S = 4248 \text{ mm}^2$



Anwendungsbeispiel Fassadenträger

- Druckzone:

$$x = \frac{Z_d}{b \cdot f_{cd} \cdot 0.85} = \frac{4248 \cdot 435}{500 \cdot 20.0 \cdot 0.85} = 217.4 \text{ mm}$$

$< d/2 = 342.5 \text{ mm} \quad (4.1.4.2.6)$
 $< 0.35d = 240 \text{ mm} \quad (4.1.4.2.5)$



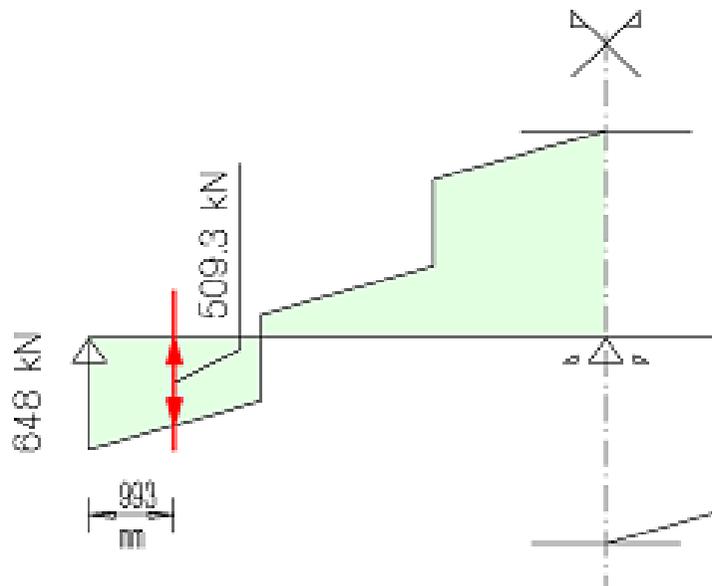
Schnittkraftumlagerung ohne rechn. Nachweis des Verformungsvermögen zulässig!

- Biege widerstand

$$M_{Rd} = Z_d \cdot (d - 0.425x) = 435 \cdot 4248 \cdot (685 - 0.425 \cdot 217.4) \cdot 10^{-6} = 1095 \text{ kNm}$$

Anwendungsbeispiel Fassadenträger

- Querkraft V_d
Auflager A $V_d = 648 \text{ kN}$
Auflager B $V_d = -1192 \text{ kN}$



- Bemessungswert der Querkraft $V_d = 509 \text{ kN}$

– Auflager A
 $a = z \cdot \cot\alpha$
 $= 573 \cdot \cot 30 = 993 \text{ mm}$

(4.3.3.4.1)

- Achtung:
(4.3.3.4.4) beachten!

Anwendungsbeispiel Fassadenträger

- Querkraftbewehrung

$$\rightarrow 25^\circ \leq \alpha \leq 45^\circ \quad (4.3.3.2)$$

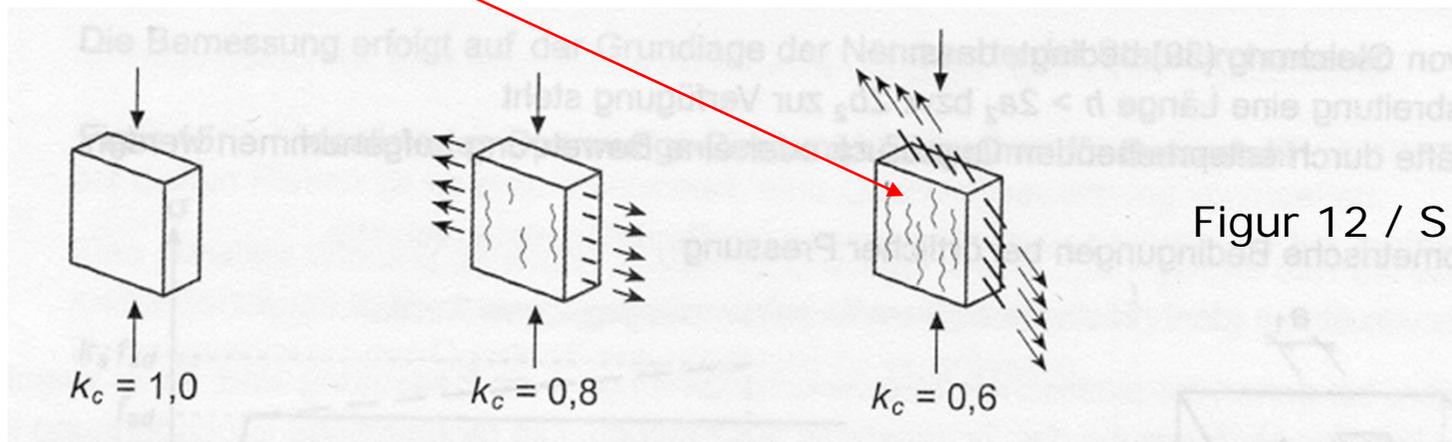
$$A_{SW} = \frac{V_{Rd,s} \cdot s \cdot \tan \alpha}{z \cdot f_{sd}} = \frac{509300 \cdot 1000 \cdot \tan 30}{573 \cdot 435} = 1180 \cdot \text{mm}^2 / \text{m}'$$

Gewählt $\emptyset 10 \text{ t} = 25 \text{ cm}$, 4-schnittig; $A_{SW} = 1256 \text{ mm}^2 / \text{m}'$

Anwendungsbeispiel Fassadenträger

- Bemessungswert des Widerstandes des Betondruckfelds

$$V_{Rd,c} = b_w \cdot z \cdot k_c \cdot f_{cd} \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha \quad (4.3.3.4.5)$$



$$V_{Rd,c} = 2 \cdot 250 \cdot 573 \cdot 0,6 \cdot 20,0 \cdot \sin 30 \cdot \cos 30 \cdot 10^{-3} = 1489 \cdot \text{kN}$$

Anwendungsbeispiel Fassadenträger

- Verankerung

(5.2.5)

- Beton C 25/30 Bemessungswert der Verbundspannung $f_{bd} = 2.4 \text{ N/mm}^2$

(Tabelle 18 /71)

- Grundwert der Verankerungslänge

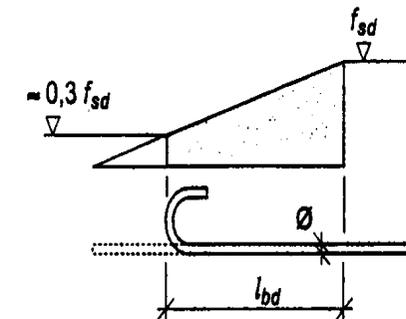
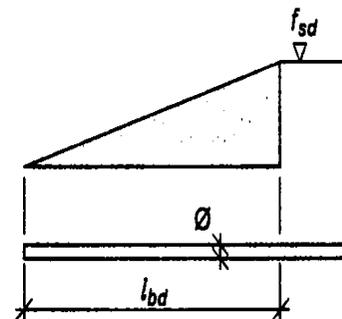
$$l_{bd,net} = \frac{\phi \cdot f_{sd}}{4 \cdot f_{bd}} = \frac{26 \cdot 435}{4 \cdot 2.4} = 1178 \cdot \text{mm}$$

- Einfluss Querdruck

$$l_{bd} = 0.70 \cdot 1178 = 825 \cdot \text{mm}$$

- Einfluss Endhaken

$$l_{bd} = 0.70 \cdot 825 = 578 \cdot \text{mm}$$



Anwendungsbeispiel Fassadenträger

- Verankerung Endauflager

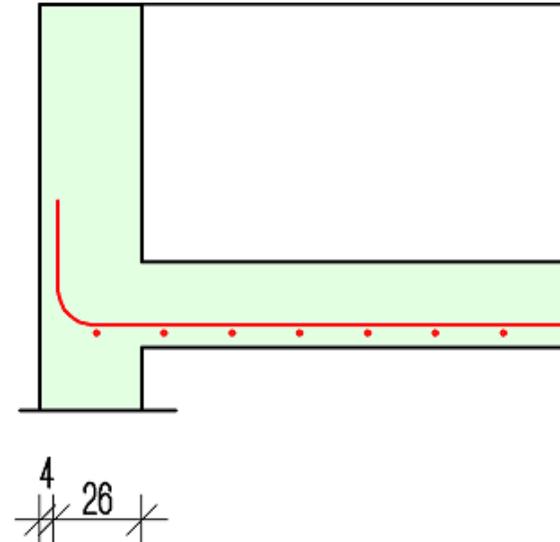
- Auflagerkraft
 $A_d = 648 \text{ kN}$

- Verankerte Kraft

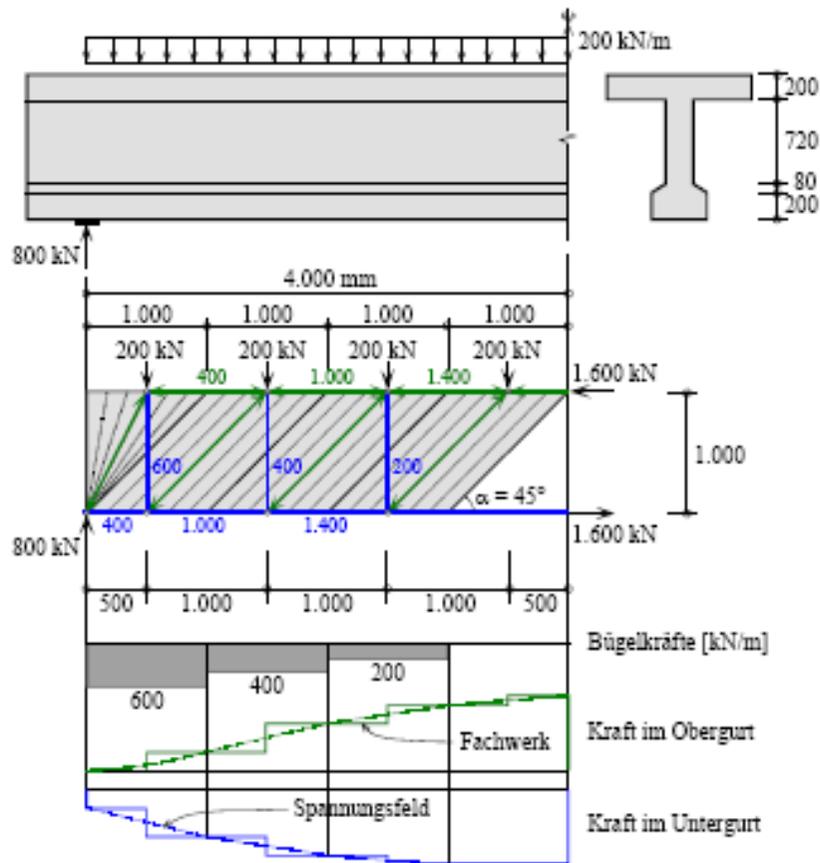
$$- F_{Rd} = 1848 \cdot \frac{260}{825} = 582 \cdot \text{kN} < A_d$$

$$- F_{Rd} = \left(0.3 \cdot 435 + 0.7 \cdot 435 \frac{260}{578} \right) \cdot 8 \cdot 531 \cdot 10^{-3} = 1136 \cdot \text{kN} > A_d$$

Gewählt: Verankerung mit Haken, Bewehrungsabstufung möglich



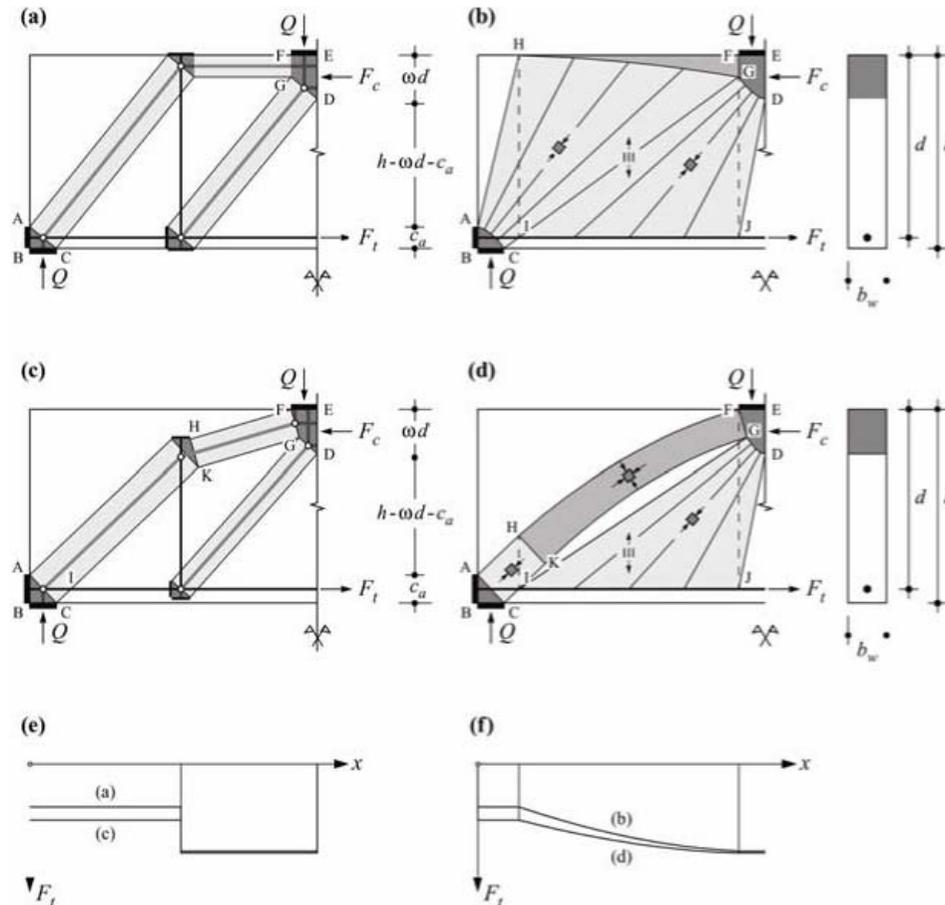
Spannungsfeld und Fachwerkmodell



Die Bemessung basiert auf plastizitätstheoretischen Modellen.

Die Darstellung erfolgt mit Hilfe von Spannungsfeldern oder, **statisch äquivalent**, mit Hilfe von Fachwerk- oder Stabmodellen

Spannungsfeld und Fachwerkmodell



Die Spannungsfelder werden nach den Regeln der Plastizitätstheorie konstruiert.

Der Übergang von Fachwerkmodell zum Fächer bzw. vom Stabmodell zum Bogen ergibt sich durch eine zunehmende Verfeinerung der Modelle.

Unterschiedliche Lastanteile und Strebenneigungen ergeben unterschiedliche Zugkraftverläufe!

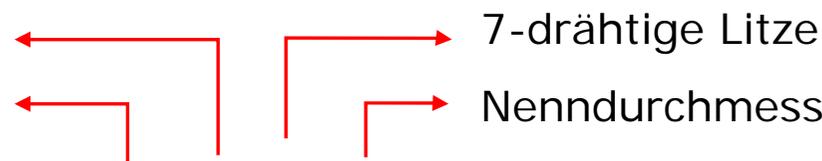
Vorspannung im Verbund

- Material und Bezeichnungen

- Beton C20/25 $f_{cd} = 13.5 \text{ N/mm}^2$, $\tau_{cd} = 0.9 \text{ N/mm}^2$
- Betonstahl B500B $f_{sd} = 435 \text{ N/mm}^2$

Zugfestigkeit

Spannstahl



7-dräftige Litze

Nenn Durchmesser

- Spannstahl

Y1770S7-15.7

$A_p = 150 \text{ N/mm}^2$

$f_{pk} = 1770 \text{ N/mm}^2$

$f_{p0,1k} = 1520 \text{ N/mm}^2$

$f_{pd} = 1320 \text{ N/mm}^2$



Tabelle 7 / S. 35



Tabelle 10 / S. 47

Wahl der Vorspannkraft

- Innenfeld

$$M_d = 4426 \text{ kNm}$$

$$M_{d'} = -5489 \text{ kNm}$$

- Erf. Zugkraft

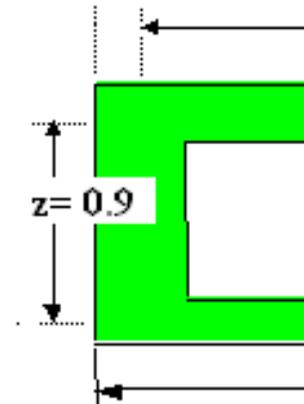
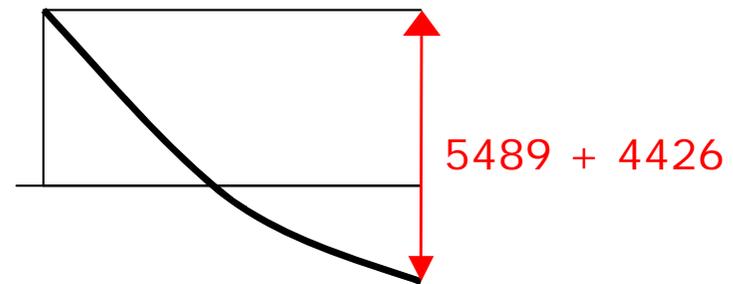
$$Z_d = \frac{4426 + 5489}{0.9} = 11'017 \cdot \text{kN}$$

Pro Steg

$$Z_d = 0.5(11017 - 2 \times 2084) = 3425 \text{ kN}$$

$$\text{Erf. } A_p = 3425000 / 1320 = 2595 \text{ mm}^2$$

Gewählt: 18 Litzen $A_p = 2700 \text{ mm}^2$



Kabelverlauf und Kabelkräfte

$$f_0 = 0.45$$

$$f_1 = 0.79$$

$$f_2 = 0.11$$

$$f_2 = 0.18$$

$$f_1 = 0.72$$

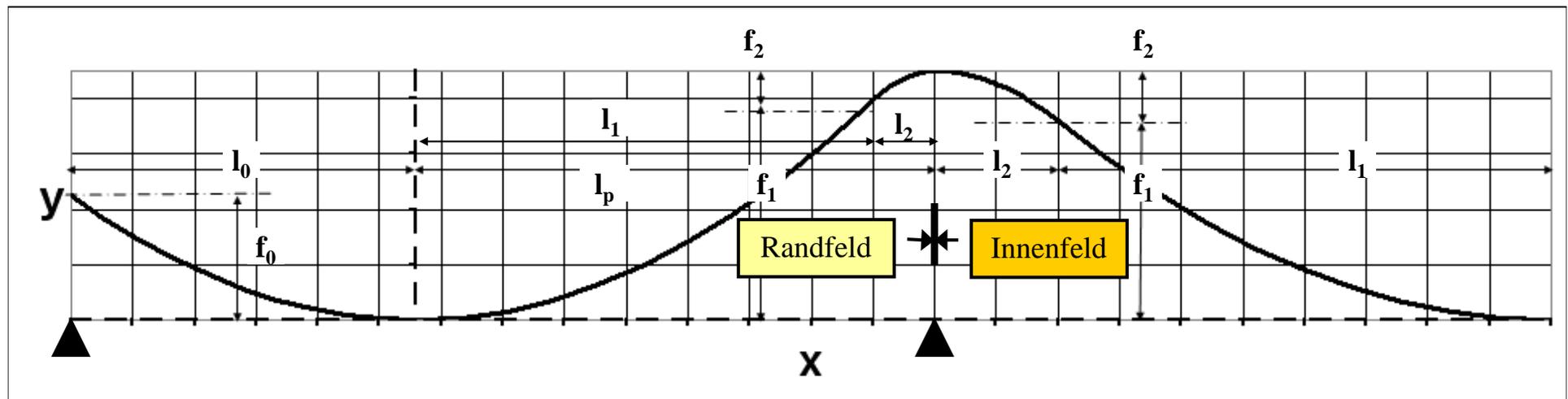
$$l_0 = 5.58$$

$$l_1 = 7.41$$

$$l_2 = 1.01$$

$$l_2 = 2.0$$

$$l_1 = 8.0$$

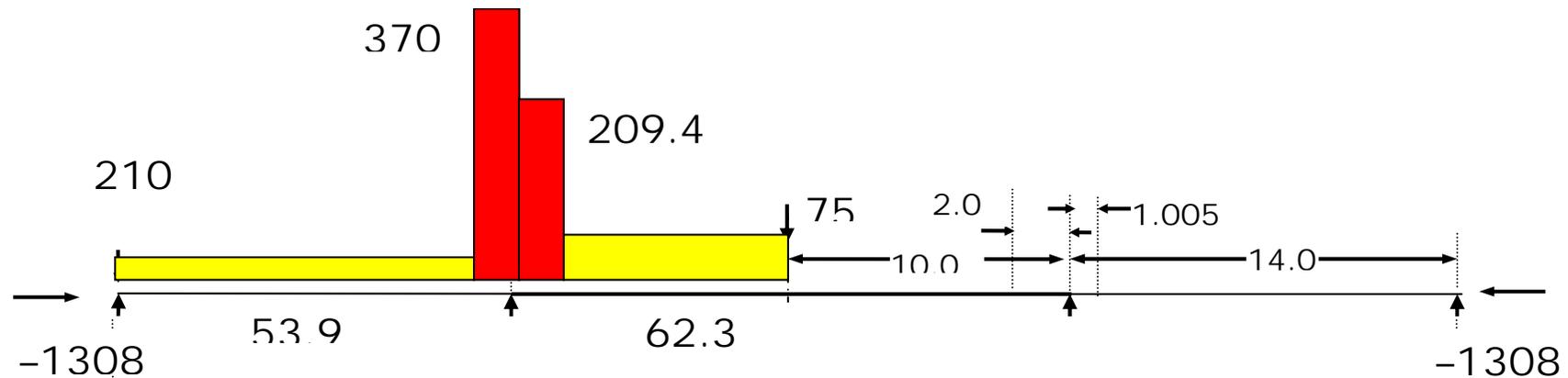


$$\text{Spannkraft } P_0 = 1620 \text{ kN} \leq 9 \times 150 \times 0.70 \times 1770$$

(4.1.5.2.2)

$$P_{m\infty} = 1308 \text{ kN} = 0.85 \times 0.95 \times 1620$$

Einwirkungen und Auswirkungen

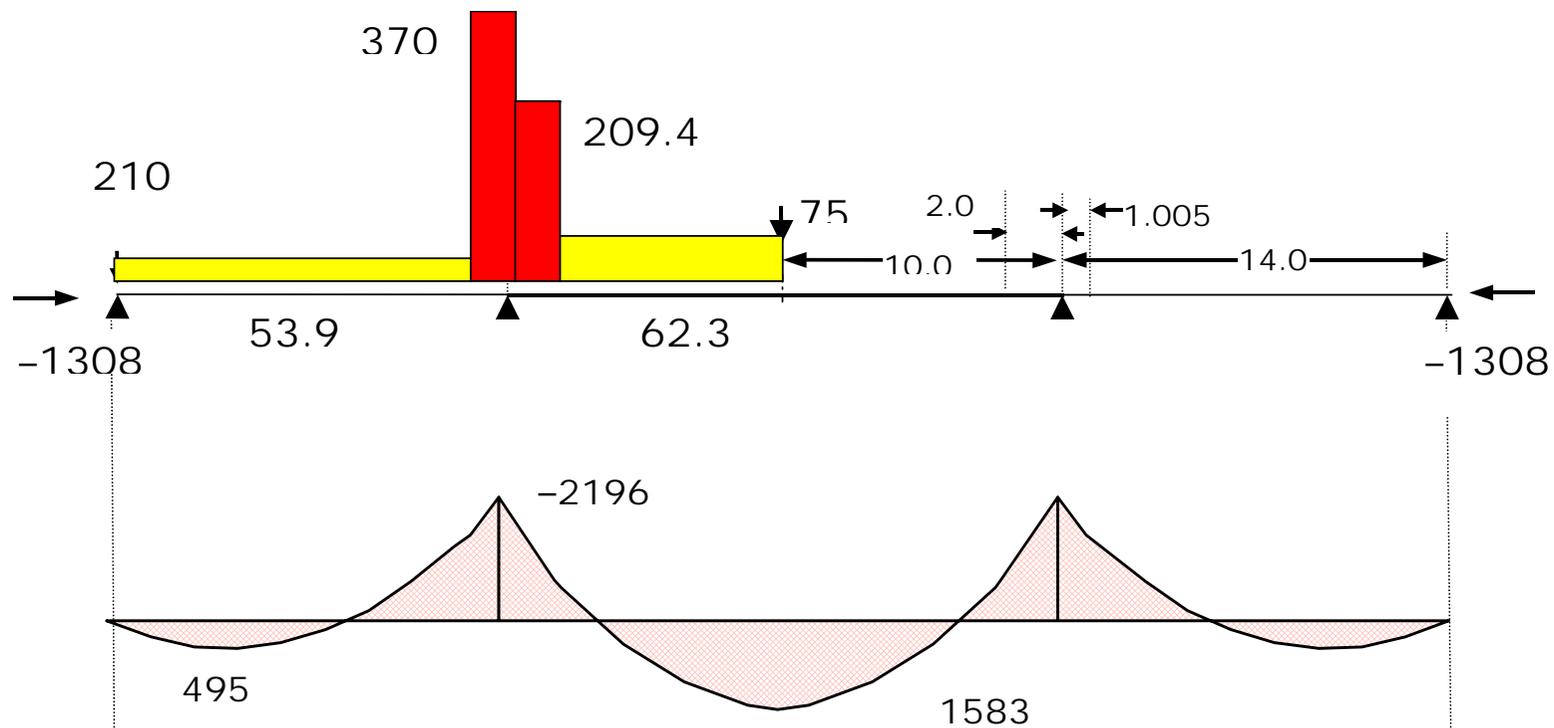


Einwirkung: $E_d = 1.35 G + 1.0 u_{(P)} + 1.5 Q$

Beispiel: Innenfeld pro Steg = $0.5(108.3 - 58.8 + 75) = 62.3 \text{ kN/m}$

$$u = \frac{P \cdot s \cdot f}{L^2} = \frac{2 \cdot 1308 \cdot 8 \cdot 0.72}{16^2} = 58.8 \cdot \text{kN/m}$$

Einwirkungen und Auswirkungen

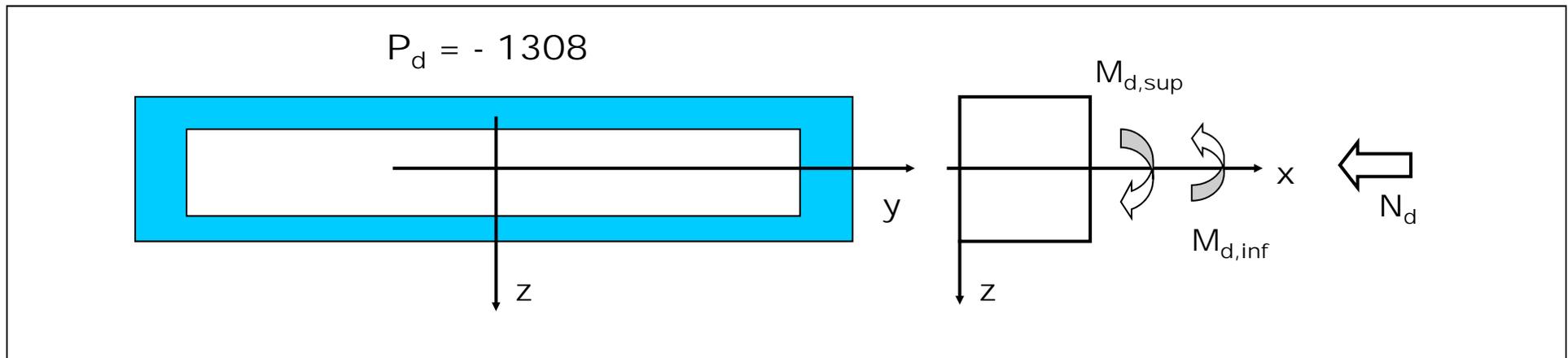


Biegemomente M_d aus Eigengewicht, Nutzlast und Vorspannung inkl. Zwängungsmomente

Querschnitt mit Schnittgrößen und Widerständen

E	$M_{d\text{sup}} = -2196$	$M_{d\text{inf}} = 1583$	$\Sigma = 3779 \text{ kNm}$
R	$M_{Rd\text{sup}} = -2070$	$M_{Rd\text{inf}} = 2045$	$\Sigma = 4115 \text{ kNm}$

Geringfügige Umlagerung



Berechnung über Umlenkkräfte → zeigt geringe Umlagerungen

Querkraft

Nachweis der Tragsicherheit



Querkraft

R

$$\Delta V_{Rd,p} = P_{m\infty} \cdot \sin \beta_x = 140.4 \text{ kN} \quad (\mathbf{X = 1.20})$$

$$V_{Rd,c} = 0.36 \cdot 0.9 \cdot 5.4 \cdot 0.40 = 700 \text{ kN}$$

$$k_c = 0.4$$


$$b_w = 0.40 - 0.5 \cdot 0.072 = 0.36 \text{ m} \quad (4.3.3.3.5)$$

$$V_{Rd} = V_{Rd,c} + \Delta V_{Rd,p} = 700 + 140 = 840 \text{ kN}$$

E

$$V_{d, \text{Steg}} = 954 - \frac{183.3 \cdot 1.2}{2} = 844 \cdot \text{kN}$$