

---

# Programm Woche 37

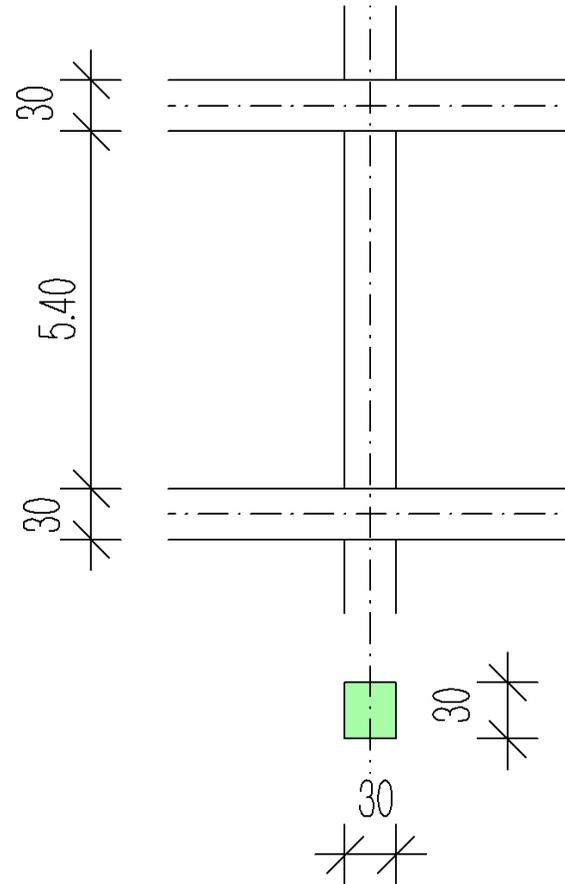
**Prof. Beat Noser**

Beispiel Hochbaustütze  
Lösung mit Hilfe von Diagrammen  
Überblick SIA 262  
Beispiel Brückenstütze

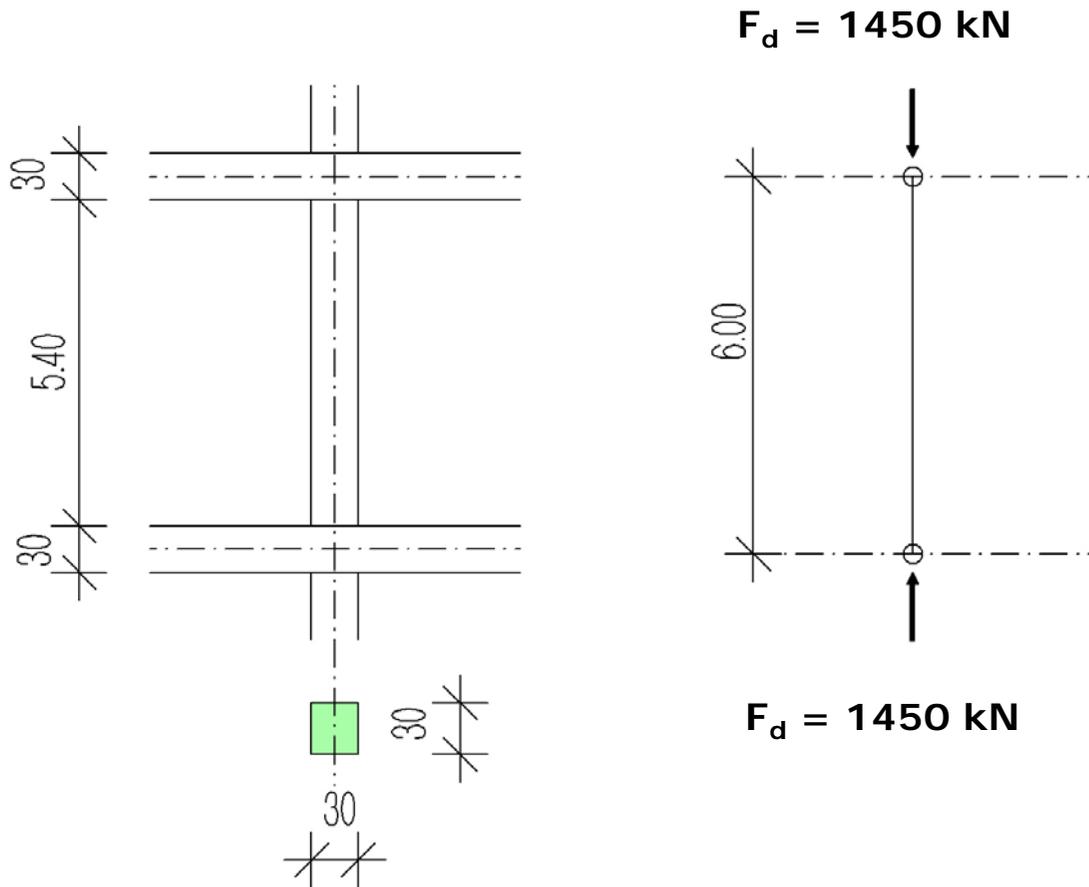


---

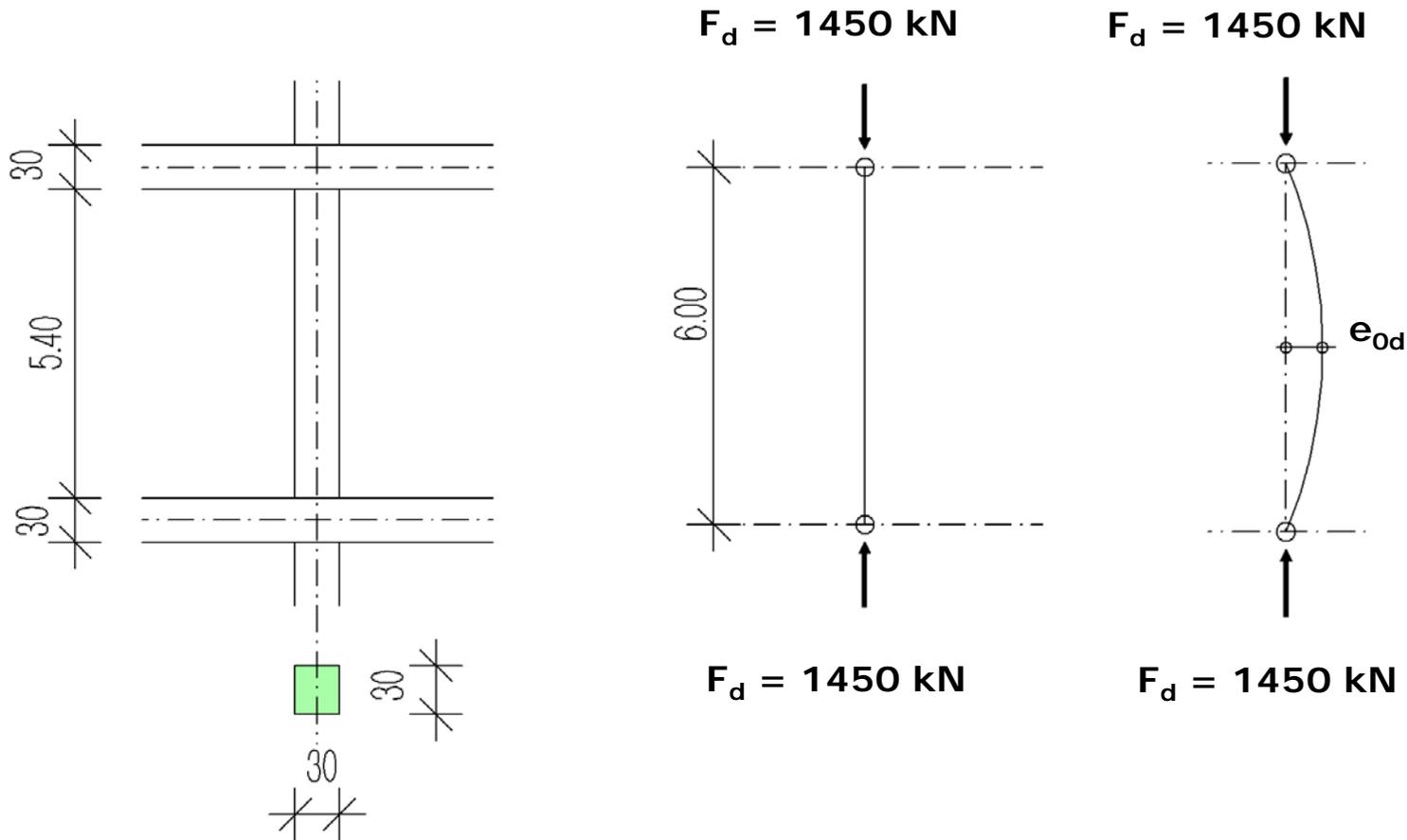
# Hochbaustütze



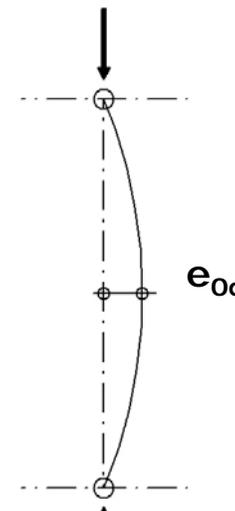
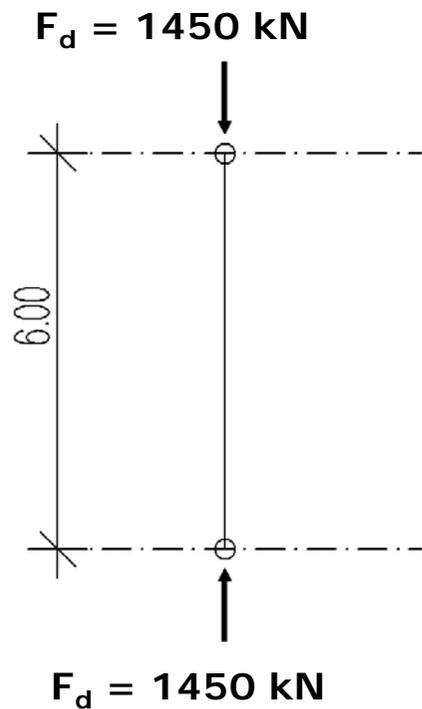
# Hochbaustütze; Modellbildung



# Hochbaustütze; Imperfektionen



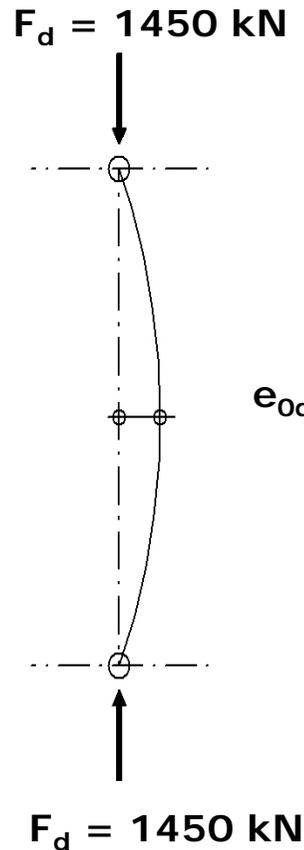
# Hochbaustütze; Imperfektionen



$$e_{0d} = \frac{0.01}{\sqrt{6}} \cdot \frac{6000}{2} = \underline{\underline{12.2\text{mm}}} \text{ bzw. } e_{0d} \cong \frac{300}{30} = 10\text{mm}$$

$$\frac{1}{200} \geq \alpha_i = \frac{0.01}{\sqrt{1}} \geq \frac{1}{300} \quad (4.1.3.2.3)$$

# Hochbaustütze; Modellbildung



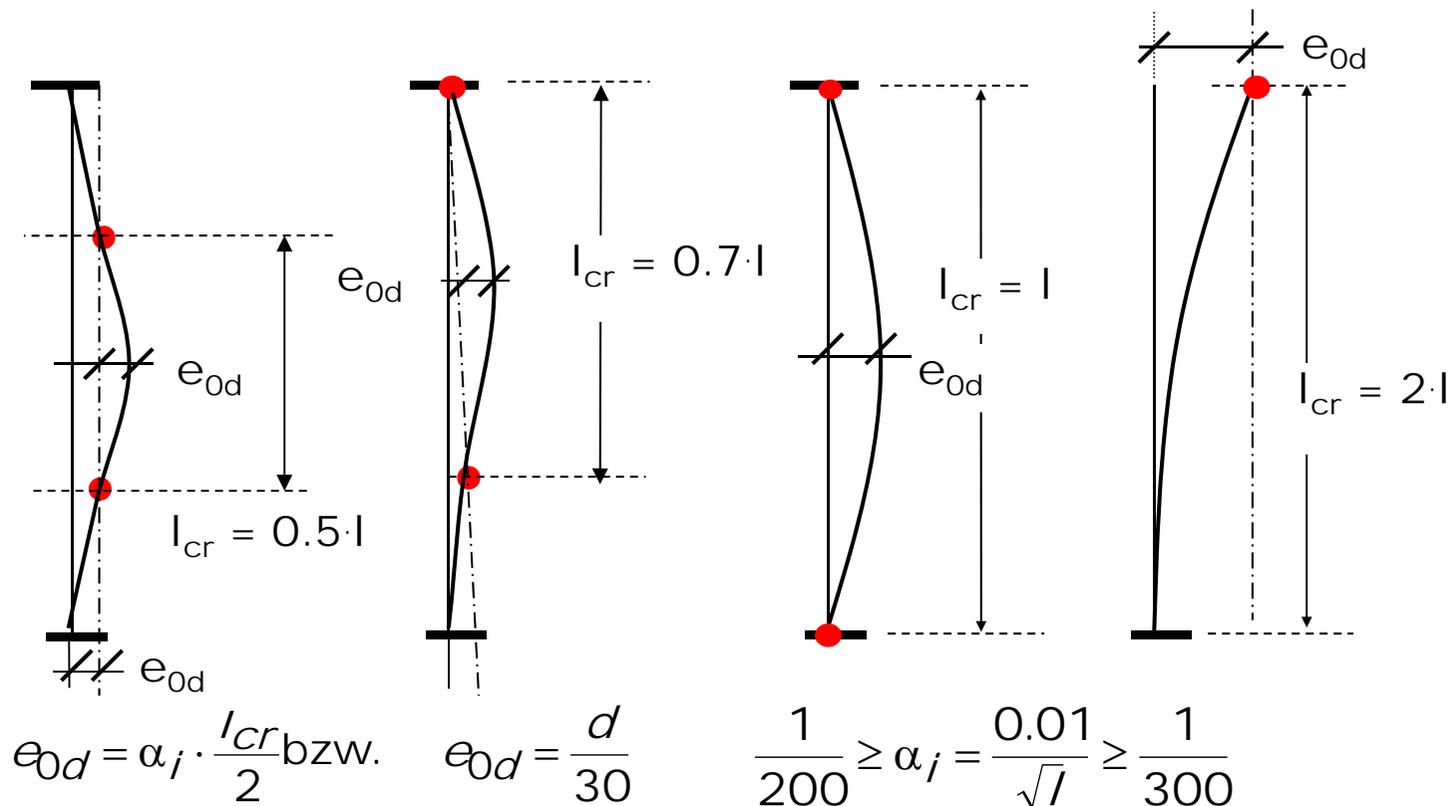
$$e_{0d} = \alpha_i \cdot \frac{l_{cr}}{2} \quad \text{bzw.} \quad e_{0d} = \frac{d}{30} \quad \frac{1}{200} \geq \alpha_i = \frac{0.01}{\sqrt{l}} \geq \frac{1}{300}$$

$$e_{0d} = \frac{0.01}{\sqrt{6}} \cdot \frac{6000}{2} = \underline{\underline{12.2\text{mm}}} \quad \text{bzw.} \quad e_{0d} \cong \frac{300}{30} = 10\text{mm}$$

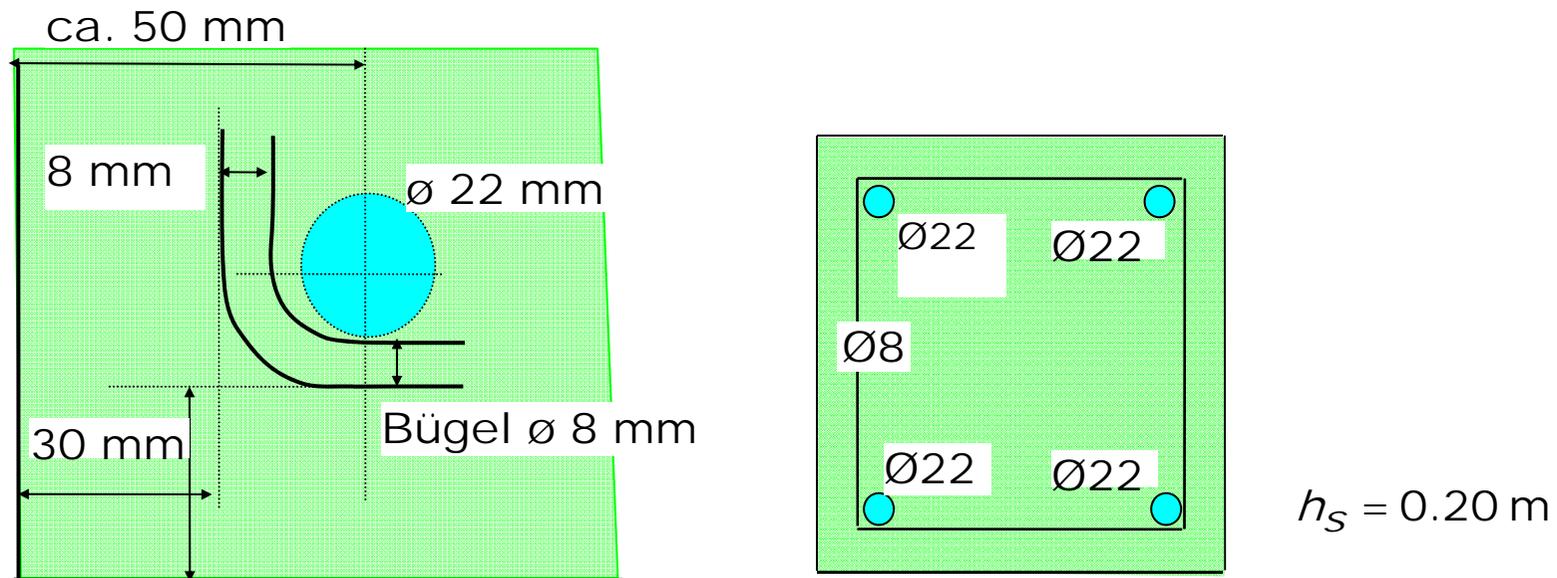
$$\frac{1}{200} \geq \alpha_i = \frac{0.01}{\sqrt{l}} \geq \frac{1}{300} \quad (4.1.3.2.3)$$

# Imperfektion affin zur Knickfigur

• Wendepunkte



# Material- und Querschnittswahl



Beton C 25/30

$$f_{cd} = 16.5 \text{ N/mm}^2$$

Betonstahl B500B

$$f_{sd} = 435 \text{ N/mm}^2$$

Bewehrung

$$A_s \geq 0.6 \%$$

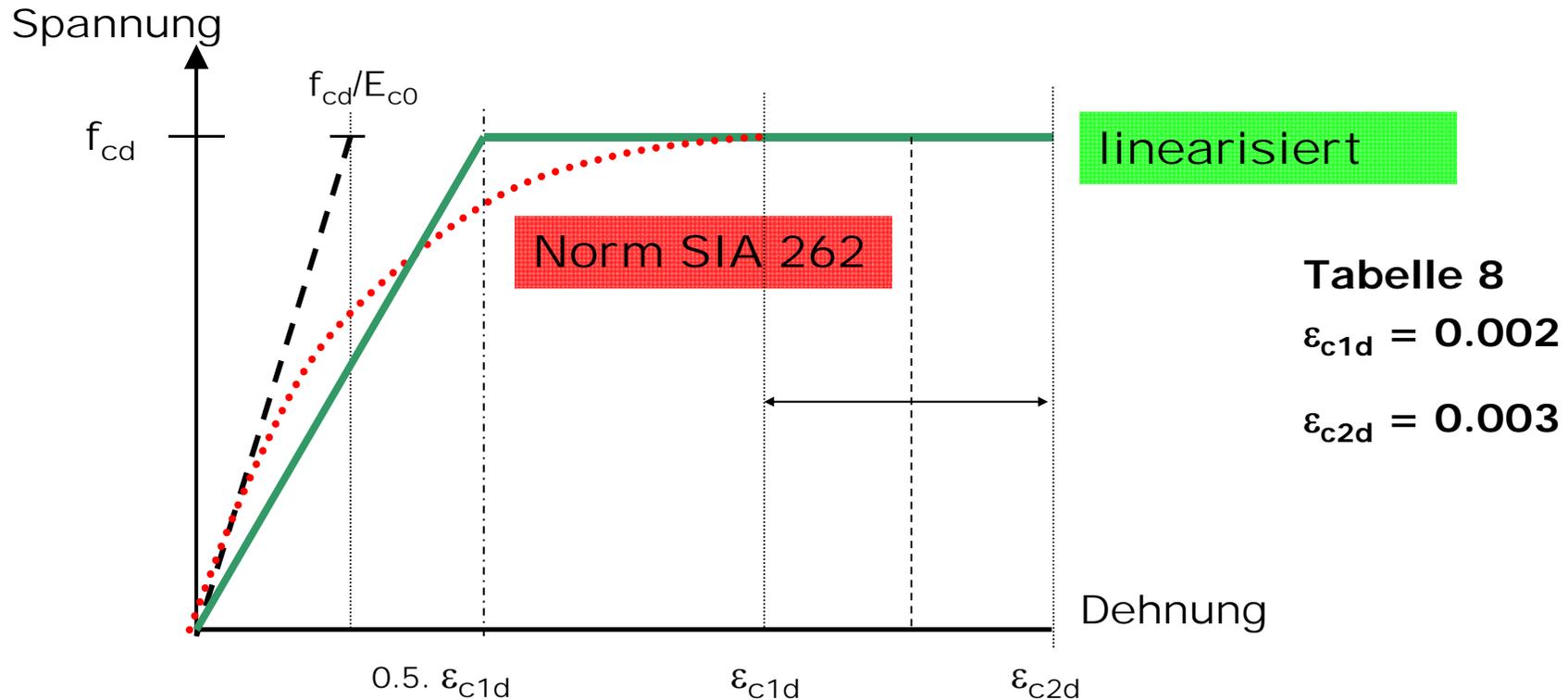
(5.5.4.2)

$$\text{Gewählt } 4 \varnothing 22 \quad A_s = 1520 \text{ mm}^2$$

$$\text{Bügel } \varnothing 8 \quad t = 250 \text{ mm}$$

(5.5.4.7)

# Betondiagramm



Näherung für Handrechnungen

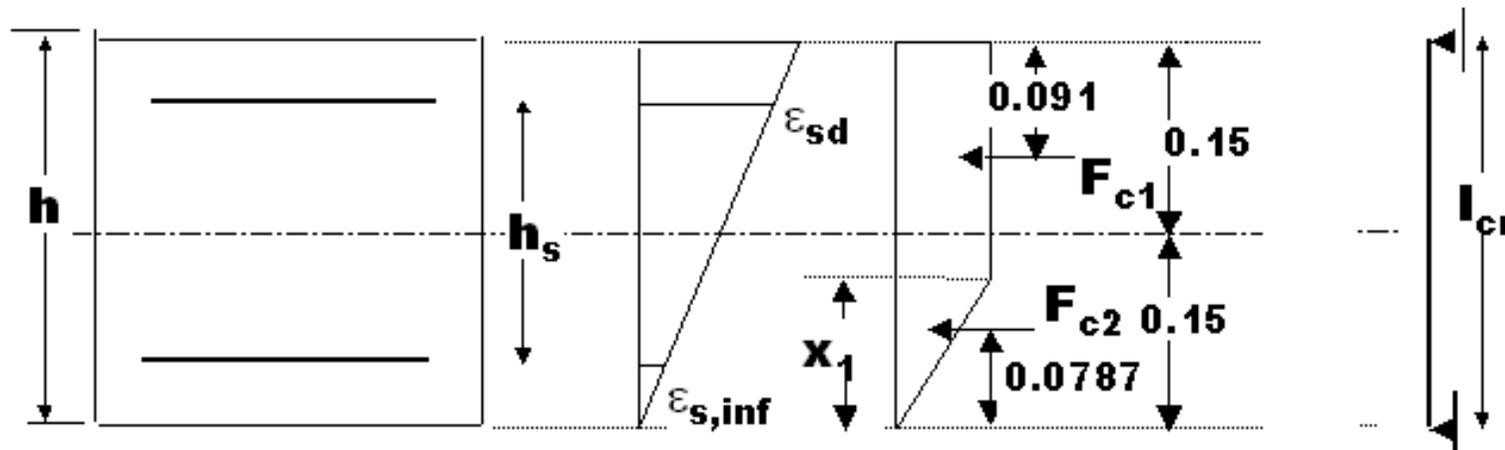
# Handrechnung

**Annahme: obere Bewehrung fliesst auf Druck**

$$\frac{x_1}{0.001} = \frac{0.25}{\varepsilon_{sd}} \quad x_1 = 0.118 \text{ m} \quad F_{c2} = 291.6 \text{ kN} \quad F_{c1} = 901.8 \text{ kN}$$

$$A_S(2\phi 22) = 760 \text{ mm}^2 \quad F_{sd} = 330.6 \text{ kN}$$

$$\varepsilon_{s,inf} = \varepsilon_{sd} \cdot \frac{0.05}{0.25} = 0.424 \cdot 10^{-3} \quad F_{s,inf} = 66.12 \text{ kN}$$



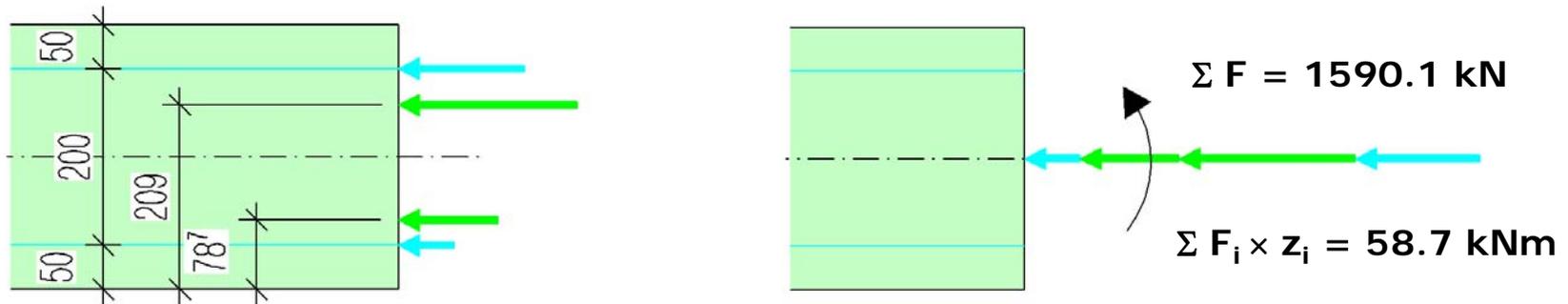
---

# Dehnungsebene und Querschnittswiderstand

$$N_{Rd} = F_{sd} + F_{s,inf} + F_{c1} + F_{c2} = 330.6 + 66.12 + 901.8 + 291.6 = \underline{1590.1 \text{ kN}}$$

$$M_{Rd} = (330.6 - 66.12) \cdot 0.1 + (901.8) \cdot (0.15 - 0.091) - 291.6 \cdot \left(0.15 - \frac{2}{3} \cdot 0.118\right)$$

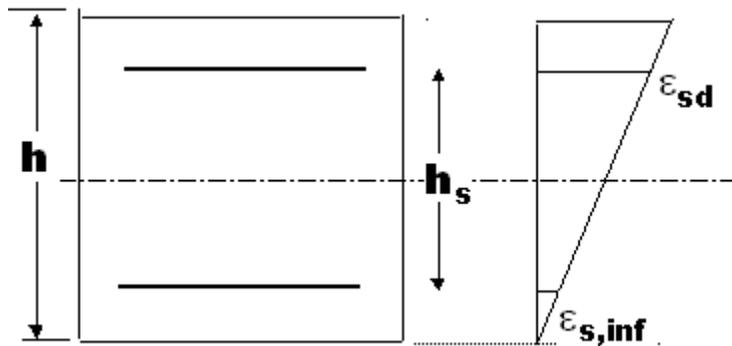
$$M_{Rd} = 26.45 + 53.12 - 20.84 = \underline{58.7 \text{ kNm}}$$



**Zu jeder Dehnungsebene ist der Querschnittswiderstand definiert.**

---

# Dehnungsebene und Krümmung

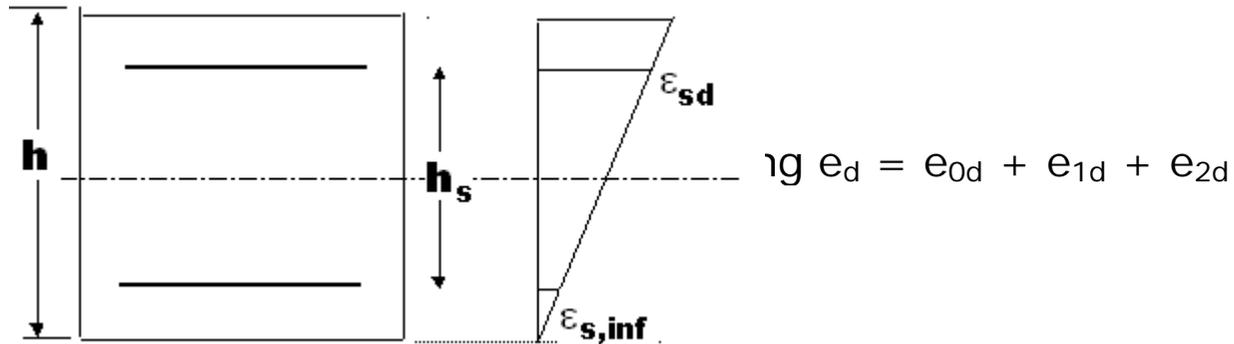


ung  $e_d = e_{0d} + e_{1d} + e_{2d}$

$$e_d = 12.2 + 0 +$$

---

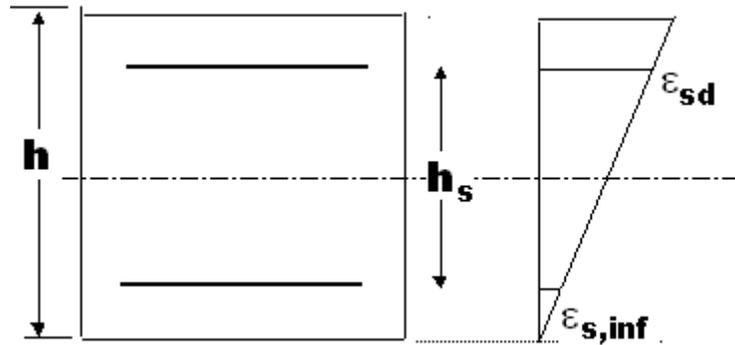
# Dehnungsebene und Krümmung



Stützensauslenkung  $e_d = e_{0d} + e_{1d} + e_{2d}$

$$e_d = 12.2 + 0 +$$

# Dehnungsebene und Krümmung



Krümmung  $e_d = e_{0d} + e_{1d} + e_{2d}$

Stützensauslenkung  $e_d = e_{0d} + e_{1d} + e_{2d}$



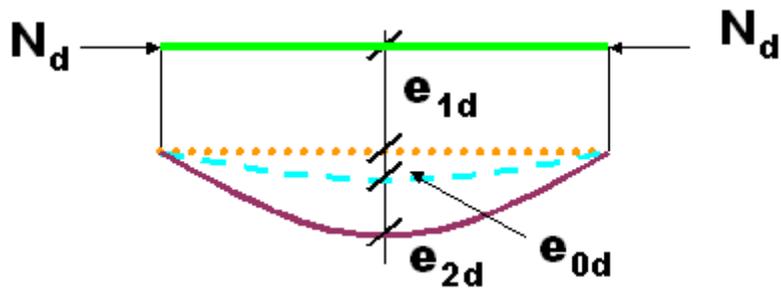
$$e_d = 12.2 + 0 + 31$$

$$e_d = 43.2 \text{ mm}$$

(4.3.7.6) + (4.3.7.12)

# Bemessungswert der Lastexzentrizität

Achse der Resultierenden

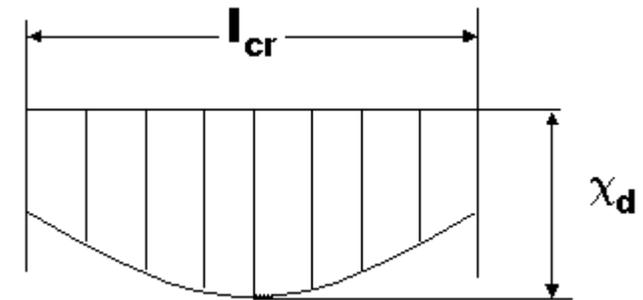


$e_{1d}$ : Planmässige Lage

$e_{0d}$ : Vorverformte Lage

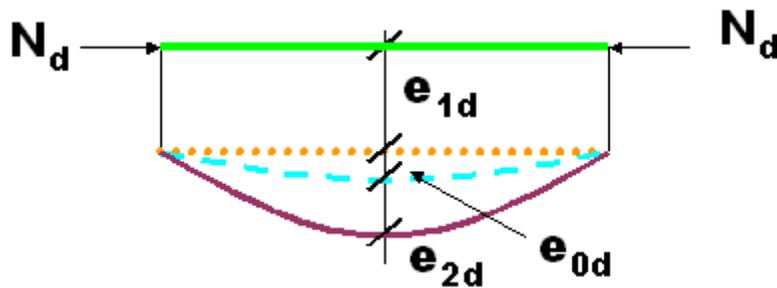
$e_{2d}$ : Verformte Lage

Krümmungsverlauf

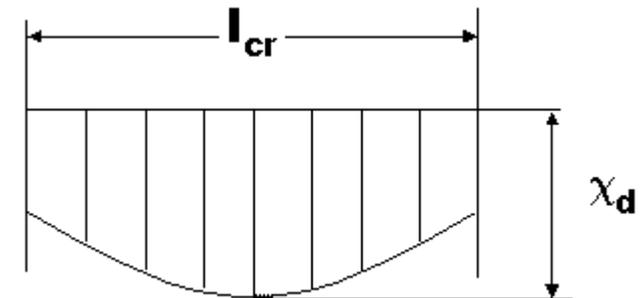


# Bemessungswert der Lastexzentrizität

Achse der Resultierenden



Krümmungsverlauf



$e_{1d}$ : Planmässige Lage



$$e_{1d} = \frac{M_{1d}}{-N_d} \quad (4.3.7.6)$$

$e_{0d}$ : Vorverformte Lage



$$\alpha_i \cdot \frac{l_{cr}}{2} \quad \text{bzw.} \quad \frac{d}{30} \quad (4.3.7.5)$$

$e_{2d}$ : Verformte Lage



$$e_{2d} = \chi_d \cdot \frac{l_{cr}^2}{c} \quad (4.3.7.7)$$

---

# Dehnungsebene und Auswirkungen

Stützensauslenkung  $e_d = e_{0d} + e_{1d} + e_{2d}$

$$e_d = 12.2 + 0 + 31$$

$$e_d = 43.2 \text{ mm} \quad \longrightarrow \quad N_{Rd} = 1590 \text{ kN}$$

$$M_{Rd} = e_d \times N_d = 68.6 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} \text{ (Dehnungsebene)} = 58.7 \text{ kNm} \neq M_{Rd} \text{ (Stabilität)} = 68.6 \text{ kNm}$$

Die Nulllinie muss ins Querschnittsinnere verlegt werden, bis:

$$M_d \approx M_{Rd}$$



2. Iterationsschritt

## 2. Iteration Dehnungsebene

Annahme: die Nulllinie liegt in der unteren Bewehrung

$$\frac{x_1}{0.001} = \frac{0.20}{\varepsilon_{sd}} \quad x_1 = 0.094 \text{ m}$$

$$F_{Sd1} = 330.6 \text{ kN}$$

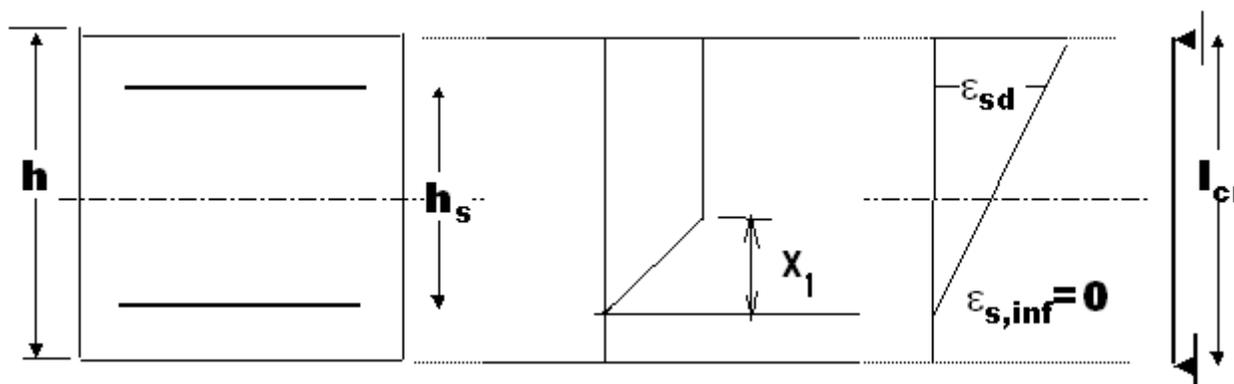
$$F_{Sd2} = 0$$

$$F_{cd1} = 770.9 \text{ kN}$$

$$F_{cd2} = 233.3 \text{ kN}$$

$$N_{Rd} = 1334.8 \text{ kN}$$

$$M_{Rd} = 80.0 \text{ kNm}$$





# Dehnungsebene und Auswirkungen

$$\chi_d = \frac{\varepsilon_{sd}}{0.20} = 10.61 \cdot 10^{-3} \cdot \text{m}^{-1} \quad \Rightarrow \quad e_{2d} = \chi_d \cdot \frac{36}{\pi^2} = 38.7 \text{ mm}$$

$$\left. \begin{aligned} e_d &= e_{0d} + e_{1d} + e_{2d} \\ e_d &= 12.2 + 0 + 38.7 = 50.9 \text{ mm} \end{aligned} \right\} \begin{aligned} N_{Rd} &= 1334.8 \text{ kN} \\ M_{Rd} &= e_d \times N_{Rd} = 67.9 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$M_{Rd} \text{ (Dehnungsebene)} = \mathbf{80.0 \text{ kNm}} \neq M_{Rd} \text{ (Stabilität)} = \mathbf{67.9 \text{ kNm}}$$

(58.7) (68.6)

Die Nulllinie muss zwischen die 1. und 2. Annahme verlegt werden, bis:

$$M_d \approx M_{Rd} \quad \longrightarrow \quad \text{3. Iterationsschritt (69.8} \approx \text{68.5)}$$

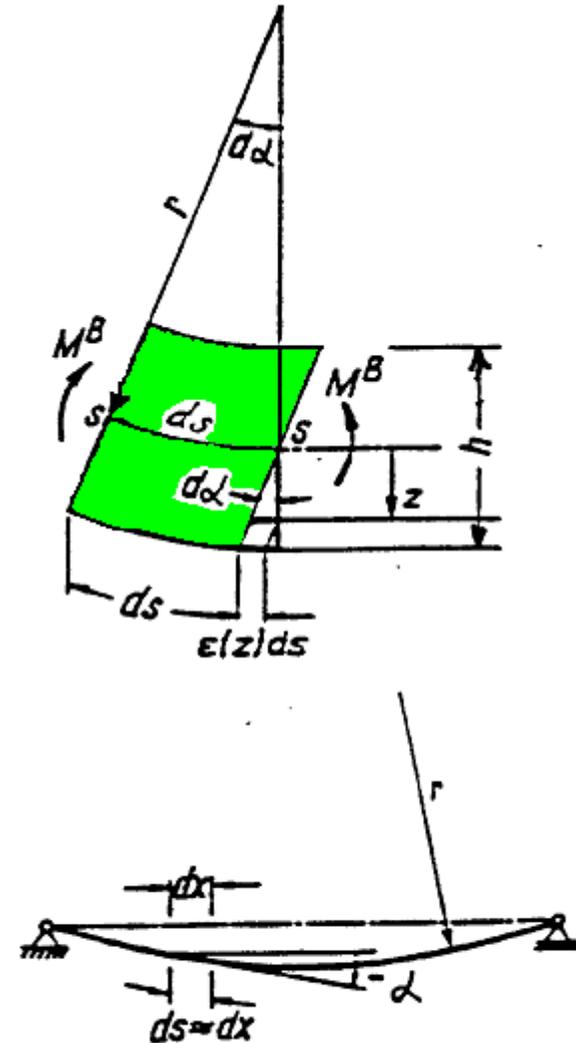
# Krümmung I

$$r \cdot d\alpha = ds \Rightarrow \frac{1}{r} = \frac{d\alpha}{ds}$$

$$\varepsilon_z \cdot ds = z \cdot d\alpha \Rightarrow \frac{\sigma_z \cdot ds}{E} = z \cdot d\alpha$$

$$\frac{M \cdot z}{EI} \cdot ds = z \cdot d\alpha \Rightarrow \frac{M}{EI} = \frac{d\alpha}{ds}$$

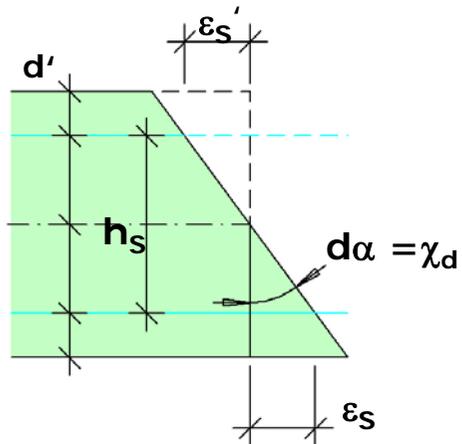
$$\text{Krümmung } \chi = \frac{1}{r} = \frac{M}{EI}$$



# Krümmung I

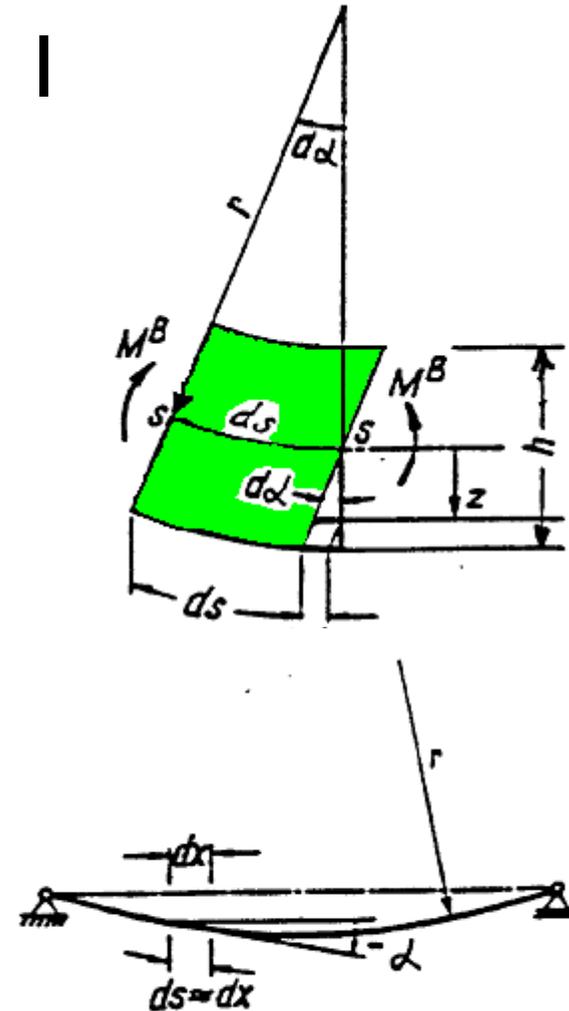
$$\frac{1}{r} = \frac{d\alpha}{ds}$$

$$\text{Krümmung } \chi = \frac{1}{r} = \frac{M}{EI}$$



$$\underline{\frac{d\alpha}{r}} = \frac{ds}{h_s} = \frac{2 \cdot \varepsilon_s \cdot ds}{h_s}$$

$$\chi = \frac{1}{r} = \frac{2 \cdot f_{sd}}{E_s \cdot (d - d')}$$



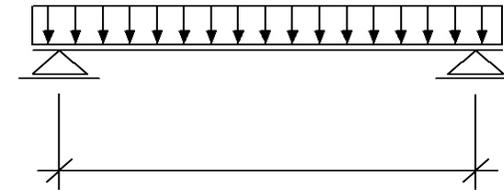
d

$$C = \pi^2 = 9.87$$

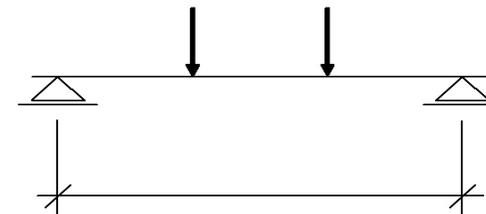
$$e = \int \frac{M}{EI} \cdot \bar{M} \cdot ds$$

Auswertung der Integrale  $\int_a^b f(s) \cdot g(s) \cdot ds$  z. B.  $\int_a^b M_i M_k ds^1$

		a	b	c	d
	$g(s)$				
	$f(s)$				
1		$ajk$	$\frac{a}{2}jk$	$\frac{a}{2}jk$	$\frac{2a}{3}jk$
2		$\frac{a}{2}jk$	$\frac{a}{3}jk$	$\frac{a}{6}jk$	$\frac{a}{3}jk$
3		$\frac{a}{2}jk$	$\frac{a}{6}jk$	$\frac{a}{3}jk$	$\frac{a}{3}jk$
4		$\frac{a}{2}jk$	$\frac{a}{4}jk$	$\frac{a}{4}jk$	$\frac{5a}{12}jk$



$$e = \frac{5 \cdot q \cdot l^4}{384 \cdot EI} = \frac{M}{EI} \cdot \frac{l^2}{9.6}$$

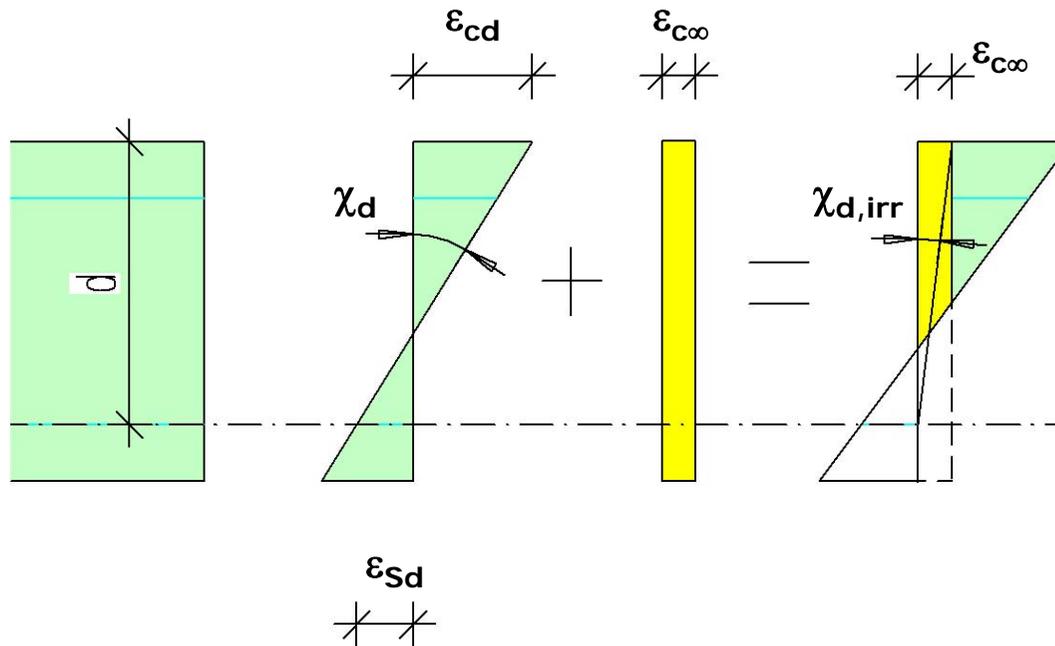


$$e = \frac{P \cdot l^3 \left(1 - \frac{4}{27}\right)}{24 \cdot EI} = \frac{M}{EI} \cdot \frac{l^2}{9.39}$$

# Kriechen

- Krümmung aus Einwirkungen  $\chi_d$
- Krümmung aus Kriechen  $\chi_{d,irr}$

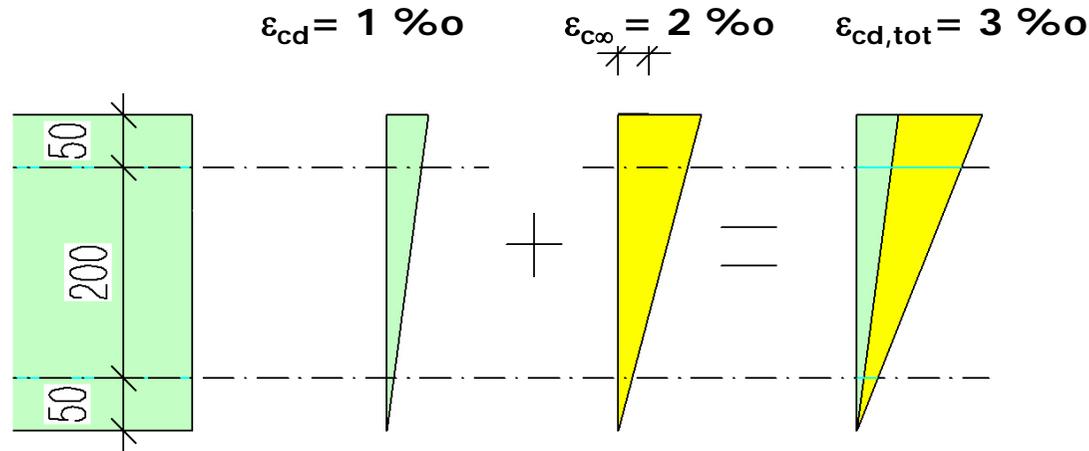
$$\chi_{d,tot} = \chi_d + \chi_{d,irr}$$



$$\chi_{d,irr} = \frac{|\epsilon_{c \cdot \infty}|}{d}$$

(4.3.7.11)

# Anwendung Kriechen $\varphi = 2.0$



$$F_{sup} : \rightarrow \varepsilon_{sup} = \frac{0.003 \cdot 250}{300} = 2.5 \cdot 10^{-3} > \varepsilon_{sd} \rightarrow F_{sup} = A_s \cdot f_{sd} = 330.6 \text{ kN}$$

$$F_{inf} : \rightarrow \varepsilon_{inf} = \frac{0.003 \cdot 50}{300} = 0.5 \cdot 10^{-3} < \varepsilon_{sd} \rightarrow F_{inf} = A_s \cdot \varepsilon_s \cdot E_s = 77.9 \text{ kN}$$

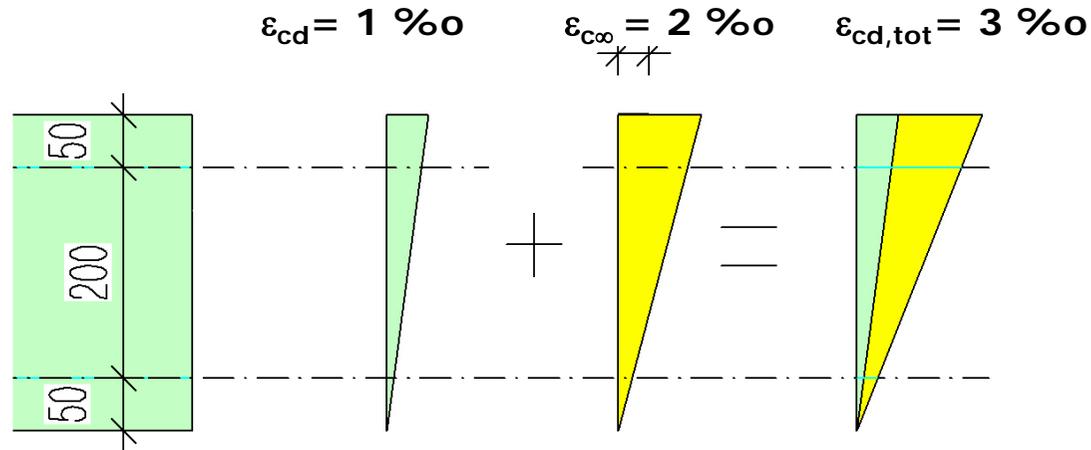
$$F_c = 16.5 \cdot 300^2 \cdot \frac{1}{2} \cdot 10^{-3} = 742.5 \text{ kN}$$

Vgl. Stoffgesetz Doku S. 45

$$\rightarrow N_d = 1151.0 \text{ kN}$$

$$M_d = 62.4 \text{ kNm}$$

# Anwendung Kriechen



• Dehnungsebene: Kräfte →  $N_d = 1151.0 \text{ kN}; M_d = 62.4 \text{ kNm}$

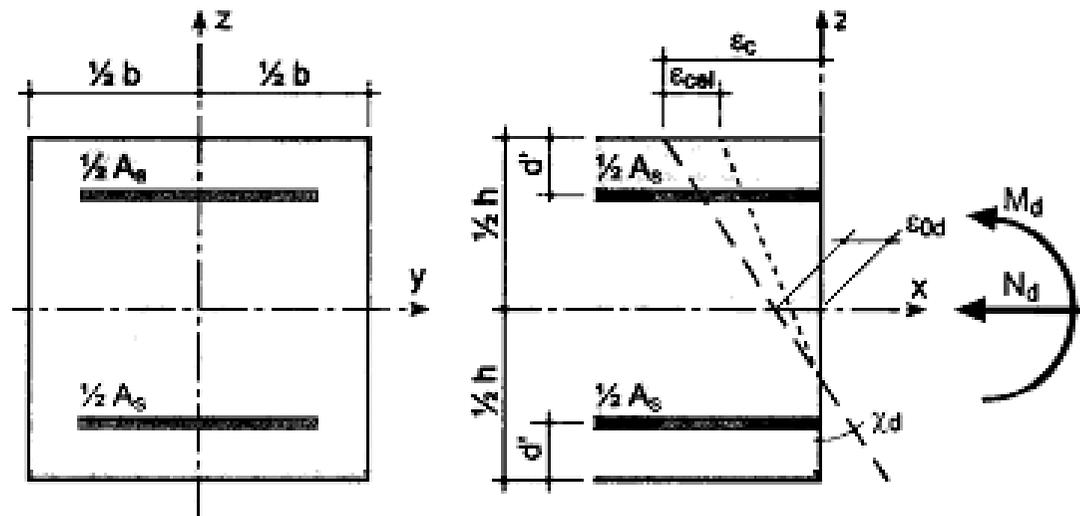
• Dehnungsebene: Verformungen →  $\chi_{d,tot} = \frac{3 \cdot 10^{-3}}{0.3} = 10 \cdot 10^{-3} \cdot \text{m}^{-1}$

$$e_d = 12.2 + 0.01 \cdot \frac{6^2}{\pi^2} \cdot 10^3 = 48.7 \text{ mm}$$



$$M_d = 1551.0 \cdot 48.7 \cdot 10^{-3} = 56.1 \text{ kNm} \neq 62.4$$

# Grundlage Diagramme



## Eingangswerte

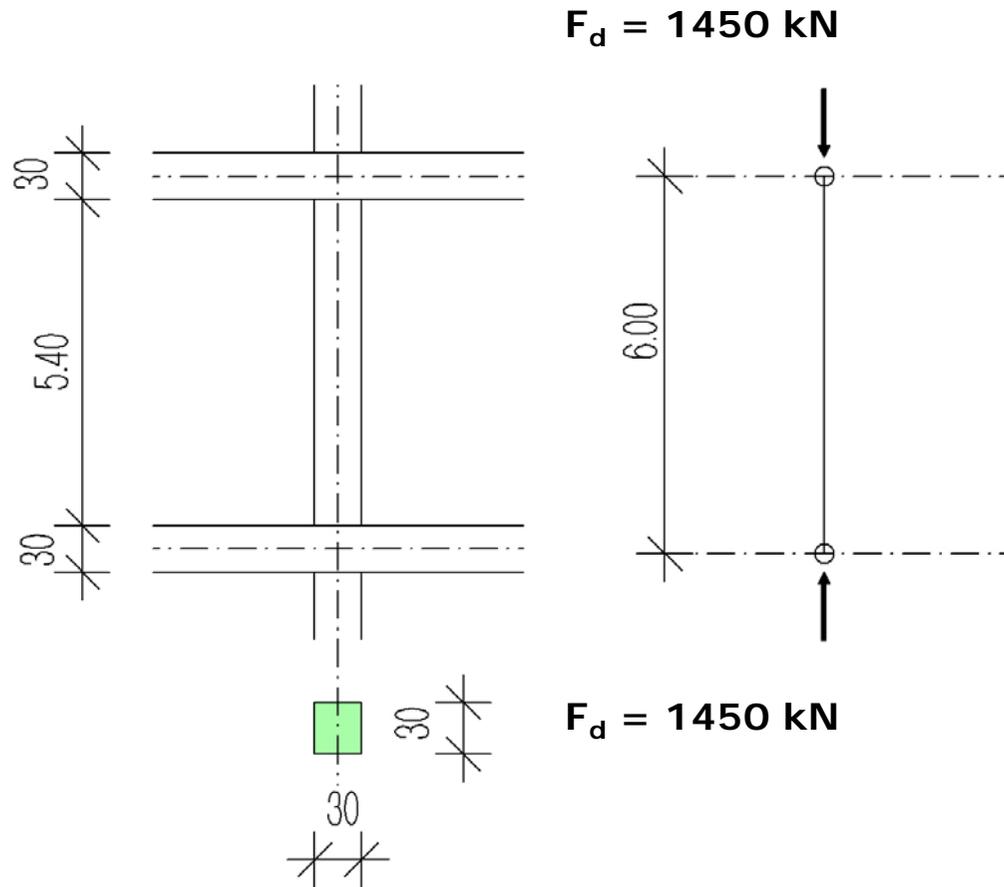
$$n_{Rd} = \frac{N_d}{b \cdot h \cdot f_{cd}}$$

$$\omega = \frac{A_s}{b \cdot h} \cdot \frac{f_{sd}}{f_{cd}}$$

$$l_{cr} / h$$

- Näherung:
- Das Spannungs-Dehnungs-Diagramm (4.2.1.6) wird mit  $k_\sigma = 400$  abgebildet
  - $f_{sd}/f_{cd} = 20$

# Aufgabe Hochbaustütze



## Eingangswerte

$$n_{Rd} = \frac{N_d}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{1450 \cdot 10^3}{300^2 \cdot 16.5} = 0.98$$

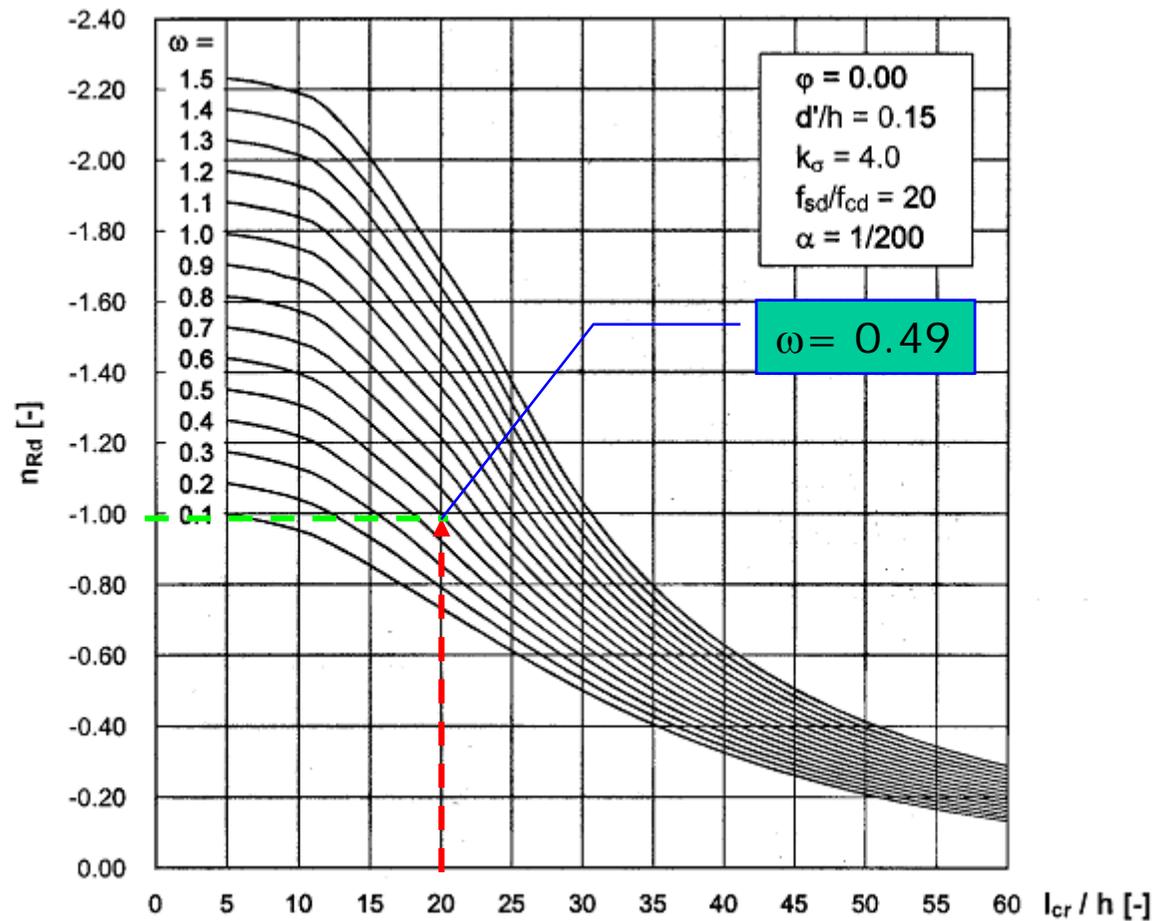
$$\frac{l_{cr}}{h} = \frac{6}{0.3} = 20$$

$$d' / h = 50 / 300 = 0.167 \approx 0.15$$

$$\alpha = \frac{0.01}{\sqrt{l}} = \frac{0.01}{\sqrt{6}} = \frac{1}{245}$$

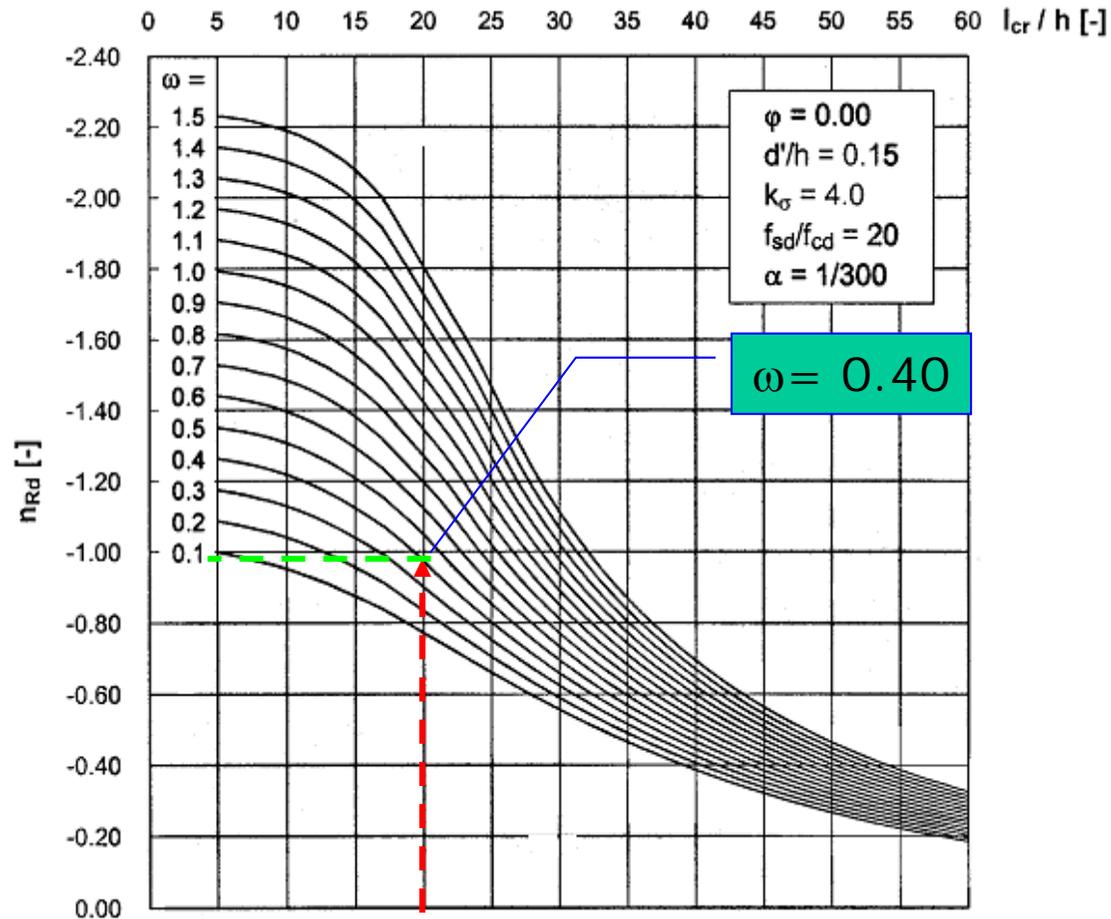
$$\varphi = 0.00$$

# Aufgabe Hochbaustütze



Mit  $\alpha = 1/245$  ist eine Interpolation mit der Tabelle  $\alpha = 1/300$  erforderlich

# Aufgabe Hochbaustütze



Für  $\alpha = 1/300$  erhalten wir:

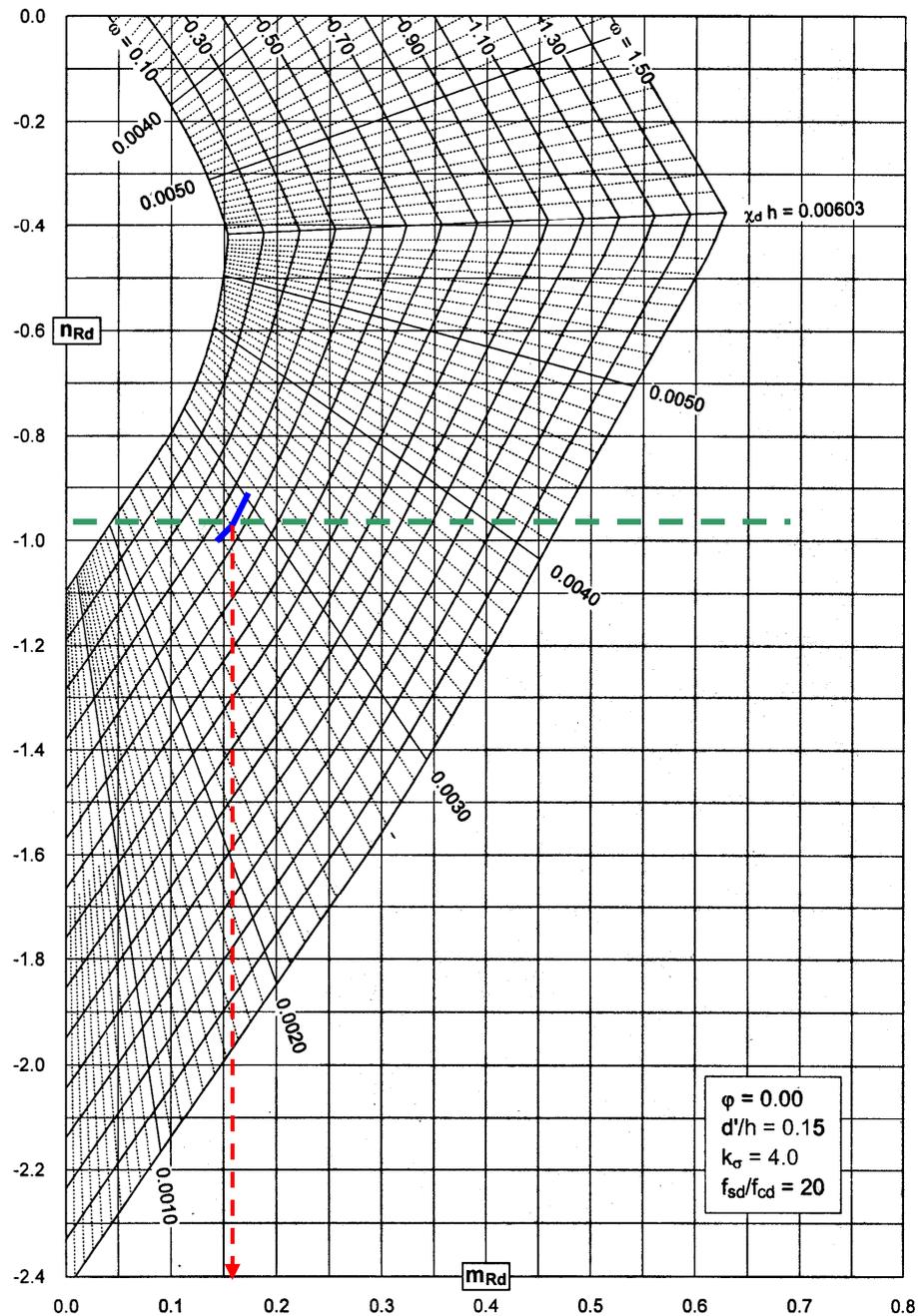
$$\omega = 0.40$$

Erf. Bewehrungsgehalt:

$$\omega = 0.5(0.49 + 0.4) = 0.445$$

Erf. Bewehrung:

$$A_s = 1520 \text{ mm}^2 = 4 \times 380 \text{ mm}^2$$



# Q-Diagramme

Gegeben:

$$N_d = 1450 \text{ kN}$$

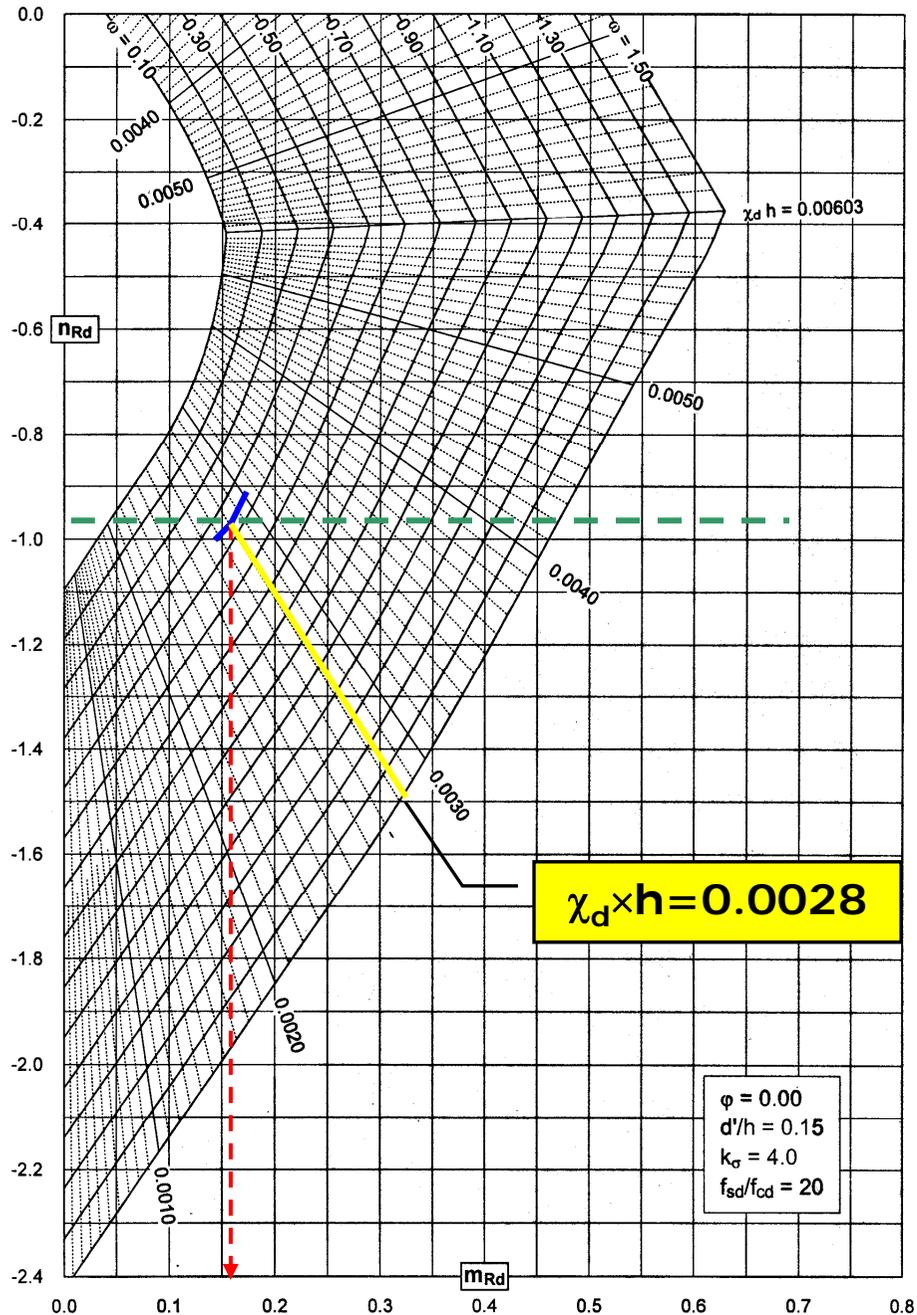
$$A_S = 4 \varnothing 22; \omega = 0.445$$



$$m_{Rd} = 0.16$$

$$M_{Rd} = 71.3 \text{ kNm}$$





# Q-Diagramme

Gegeben:

$$N_d = 1450 \text{ kN}$$

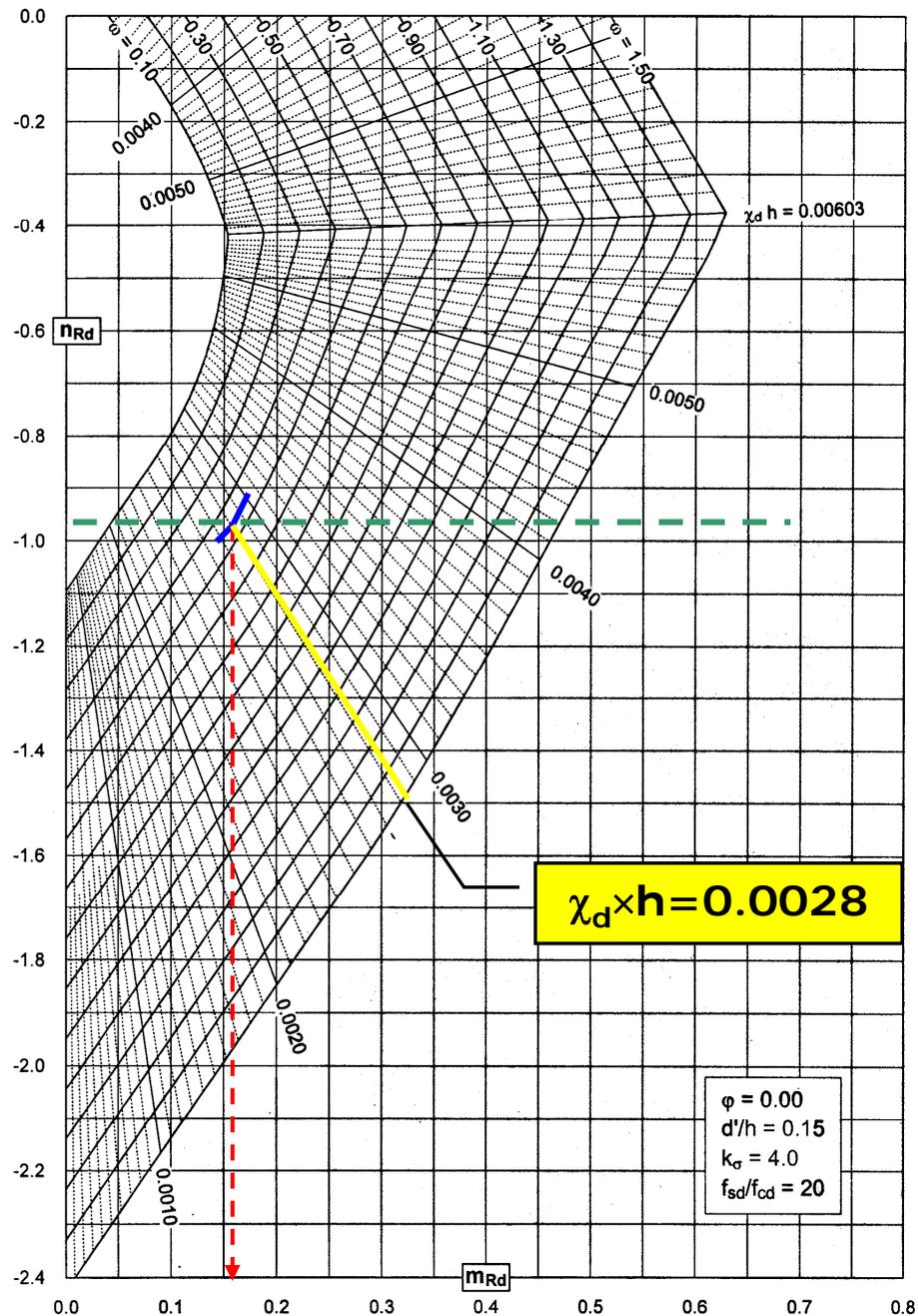
$$A_S = 4 \varnothing 22; \omega = 0.445$$

$$m_{Rd} = 0.16$$

$$M_{Rd} = 71.3 \text{ kNm}$$

$$\chi_d = \frac{0.0028}{0.3} 9.33 \cdot 10^{-3} \cdot \text{m}^{-1}$$





# Q-Diagramme

Gegeben:

$$N_d = 1450 \text{ kN}$$

$$A_S = 4 \varnothing 22; \omega = 0.445$$

$$m_{Rd} = 0.16$$

$$M_{Rd} = 71.3 \text{ kNm}; \chi_d = 9.33 \times 10^{-3}$$

Auswirkung:

$$e_d = 12.2 + 9.33 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{36}{\pi^2} \cdot 10^3 = 46.15 \text{ mm}$$

$$M_d = 1450 \cdot 46.15 \cdot 10^{-3} = 66.90 \text{ kNm} < 71.30 \text{ kNm}$$



---

# Mögliche Begrenzung der Nachweise

(Herleitung siehe D 0192 Seite 48)

$$\lambda_{cr} \leq 25 \quad \lambda_{cr} = \frac{l_{cr}}{i_c} \quad i_c = \sqrt{\frac{J_c}{A_c}} \quad (1)$$

$\lambda_{cr}$  Schlankheit

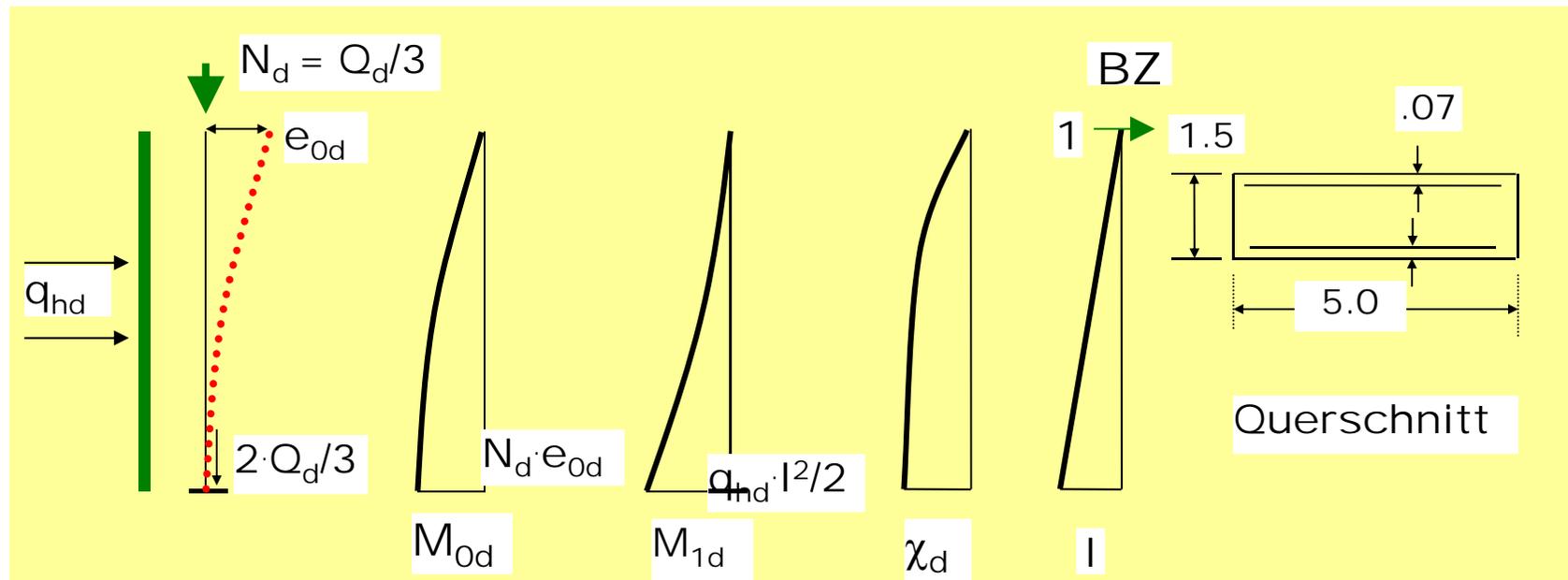
$i_c$  Trägheitsradius des Betonquerschnitts

---

$$e_{1d} + e_{0d} \geq 0.01 \cdot \frac{l_{cr}^2}{h_s} \quad (2)$$

Ein Nachweis 2ter Ordnung lohnt sich kaum, wenn eine der beiden Bedingungen erfüllt ist

# Bauzustand Brückenstütze (Kragarm)



---

# Bauzustand

$$l = 45 \text{ m}$$

$$b = 5.0 \text{ m}$$

$$h = 1.50 \text{ m}$$

$$d = 1.43 \text{ m}$$

$$f_{cd} = 16.5 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{cd} = 30 \text{ kN/mm}^2$$

$$f_{sd} = 435 \text{ N/mm}^2$$

$$d' = 0.07 \text{ m}$$

$$q_{hd} = 24 \text{ kN/m}$$

$$\alpha_j = \frac{0.01}{\sqrt{45}} = \frac{1}{670} \quad \rightarrow \quad \alpha_j = \frac{1}{300}$$

$$e_{0d} = \frac{1}{300} \cdot \frac{2 \cdot 45}{2} = 0.15 \text{ m} > \frac{d}{30} = \frac{1.43}{30} = 0.048 \text{ m}$$

$$N_d = \frac{1}{3} \cdot (\gamma_{G,\text{sup}} \cdot \gamma_c \cdot b \cdot h \cdot l) = \frac{1}{3} \cdot 1.35 \cdot 25 \cdot 5 \cdot 1.5 \cdot 45 = 3797 \text{ kN}$$

---

# Bauzustand Näherung

$$\chi_{d,\max} = \frac{2 \cdot f_{sd}}{E_s \cdot h_s} = 2 \cdot \frac{0.435}{205 \cdot 1.36} = 3.12 \cdot 10^{-3} \text{ m}^{-1} \quad (4.3.7.8)$$

$$e_{2d} = \chi_d \cdot \frac{l_{cr}^2}{\pi^2} = 3.12 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{(2 \cdot 45)^2}{\pi^2} = 2.56 \text{ m}$$

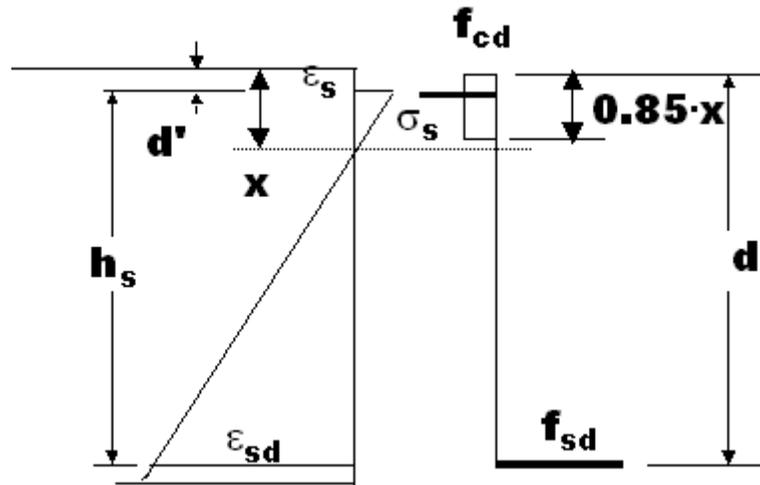
$$M_{1d} = q_{hd} \cdot \frac{l^2}{2} = 24 \cdot \frac{45^2}{2} = 24300 \text{ kNm} = 24.3 \text{ MNm}$$

$$M_d = 3.797 \cdot (0.15 + 2.56) + 24.3 = 34.6 \text{ MNm}$$

## Näherung

$$F_{s,\text{erf}} \approx \frac{34.6}{0.9 \cdot 1.43} - \frac{3.8}{2} = 25.0 \text{ MN} \quad 45\phi 40 = 56565 \text{ mm}^2 \quad F_{sd} = 24606 \text{ kN}$$

# Bauzustand Näherung



$$\frac{\varepsilon_s}{x - d'} = \frac{\varepsilon_{sd}}{d - x}$$

$$\sigma_s = \varepsilon_s \cdot E_s = \frac{435}{205} \cdot 205 \cdot \frac{x - d'}{d - x}$$

$$A_s \cdot \sigma_s = 56.565 \cdot 0.435 \cdot \frac{x - 0.07}{1.43 - x}$$

$$F_C = 0.85 \cdot x \cdot 5 \cdot 16.5 = 70.125 \cdot x$$

**Gleichgewicht**

$$24.606 + 3.797 = 28.403 = 24.606 \cdot \frac{x - 0.07}{1.43 - x} + 70.125 \cdot x$$

Stahl pos

N

Summe

Stahl neg

Beton

---

# Bauzustand Brückenstütze (1. Schritt)

Quadratische Gleichung nach x auflösen

$$x = 0.324 \text{ m} \quad 0.85 \cdot x / 2 = 0.138 \text{ m}$$

$$F_{S2} = 5.66 \text{ MN} \quad F_{S1} = 24.61 \text{ MN} \quad F_C = 22.74 \text{ MN}$$

$$M_{Rd} = 30.27 \cdot 0.68 + 22.74 \cdot (0.75 - 0.138) = 34.5 \text{ MNm} \approx M_d = 34.6 \text{ MNm}$$

$$\varepsilon_{sd} = 2.122 \cdot 10^{-3} \quad \varepsilon_s = -2.122 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{0.324 - 0.07}{1.43 - 0.324} = -0.487 \cdot 10^{-3}$$



Kontrolle der Verformungen

---

# Bauzustand Brückenstütze (2. Schritt)

$$\chi_d = \frac{2.122 + 0.487}{1.36} \cdot 10^{-3} = 1.92 \cdot 10^{-3} \text{ m}^{-1}$$

$$e_{2d} = 1.92 \cdot \frac{90^2}{\pi^2} \cdot 10^{-3} = 1.57 \text{ m}$$

## Korrektur Biegemoment

$$M_d = 3.797 \cdot (0.15 + 1.57) + 24.3 = 30.3 \text{ MNm}$$

## Neue Bewehrung

$$A_s(40\phi 40) = 50280 \text{ mm}^2$$

# Bauzustand Brückenstütze (2. Schritt, Kontrolle)

## Berechnung analog 1. Schritt

$$x = 0.302 \text{ m} \quad F_{S2} = 4.50 \text{ MN} \quad F_C = 21.17 \text{ MN} \quad F_{Sd} = 21.87 \text{ MN}$$

$$M_{Rd} = (21.87 + 4.50) \cdot 0.68 + 21.17 \cdot (0.75 - 0.128) = 31.09 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = 31.09 \text{ MNm} > M_d = 30.74 \text{ MNm}$$

## Kontrolle Verformungen (praktisch unverändert)

$$\varepsilon_{Sd} = 2.122 \cdot 10^{-3} \quad \varepsilon_S = -0.436 \cdot 10^{-3}$$

$$\chi_d = \frac{2.122 + 0.436}{1.36} \cdot 10^{-3} = 1.88 \cdot 10^{-3} \text{ m}^{-1}$$

$$e_{2d} = 1.88 \cdot \frac{90^2}{\pi^2} \cdot 10^{-3} = 1.54 \text{ m} \approx 1.57$$

# Krümmungsverteilung

# c-Werte

$$e_{2d}^1 = \chi_d \cdot \frac{l_{cr}^2}{c}$$

$$\chi_d = \frac{M}{EJ}$$



System								
c	$\pi^2$	8		12		9.6	16	

---

# Bauzustand Brückenstütze (3. Schritt) c-Berechnung

$$\chi_d = 1.88 \cdot 10^{-3} \text{ m}^{-1}$$

$$M_{Rd} = 31.09 \text{ kNm}$$

$$EJ = \frac{M_{Rd}}{\chi_d} = \frac{31.09}{1.88} \cdot 10^3 = 16.54 \cdot 10^3 \text{ MNm}^2$$

$$N_{cr,d} = \frac{\pi^2 \cdot EJ}{l_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 16.54 \cdot 10^3}{90^2} = 20.15 \text{ MN}$$

$$c = \pi^2 \cdot \frac{N_d}{N_{cr,d}} + \frac{\sum_i M_{di}}{\sum_i \frac{M_{di}}{c_i}} \cdot \left( 1 - \frac{N_d}{N_{cr,d}} \right)$$

---

# Bauzustand Brückenstütze (3. Schritt) c-Berechnung

$$M_d(q) = 24.3 \text{ MNm}$$

$$M_d(N_d) = 3.797 \cdot 0.15 \text{ MNm}$$

$$c = \pi^2 \cdot \frac{3.797}{20.15} + \frac{3.797 \cdot 0.15 + 24.3}{\frac{\pi^2}{16} + \frac{24.3}{16}} \cdot \left(1 - \frac{3.797}{20.15}\right) = 14.66$$

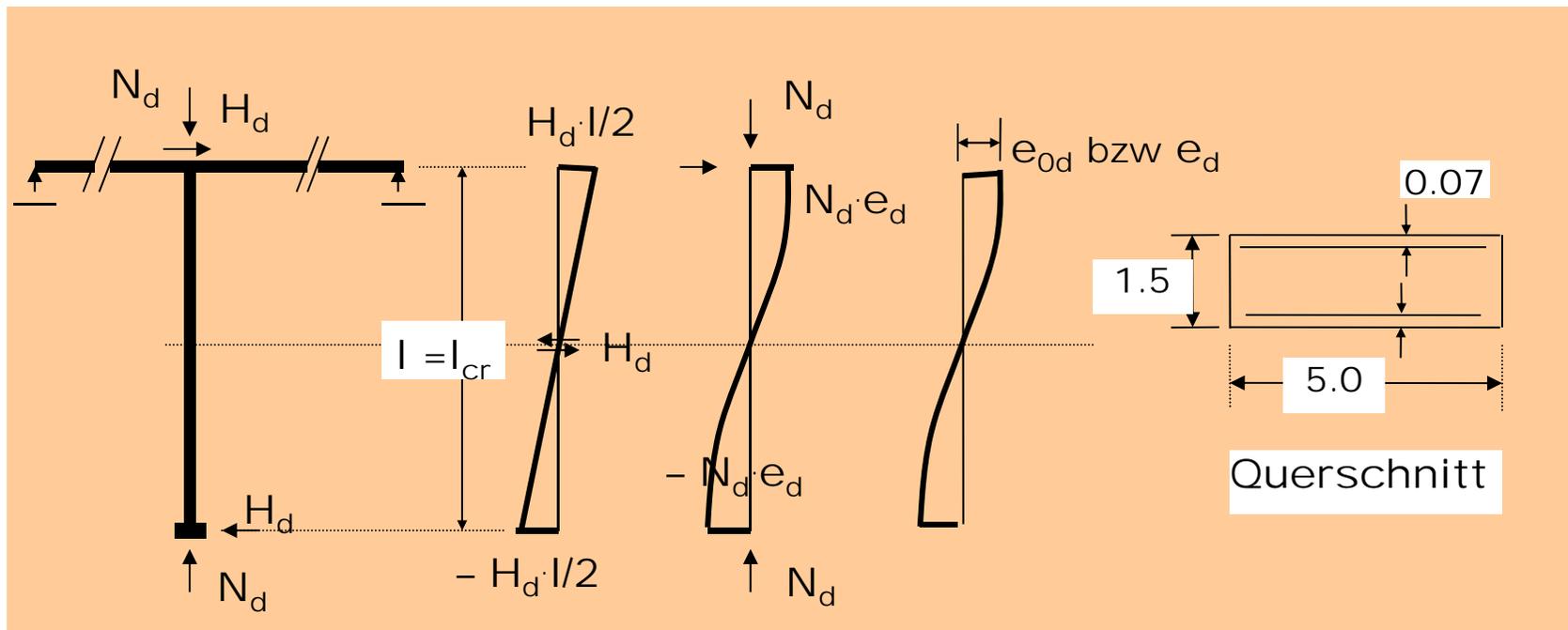
## Kontrolle der Verformungen

$$e_{2d} = \chi_d \cdot \frac{l_{cr}^2}{c} = 1.88 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{90^2}{14.66} = 1.04 \text{ m}$$

$$M_d = 3.797 \cdot (0.15 + 1.04) + 24.3 = 28.8 \text{ MNm} \neq 24.9$$

 4. Schritt

# Endzustand Brückenstütze (Kopf beweglich)



---

# Endzustand Brückenstütze (Kopf beweglich)

$$l = l_{cr} = 45 \text{ m} \quad N_d = 15 \text{ MN} \quad H_d = 1.2 \text{ MN} \quad e_{0d} = \frac{1}{300} \cdot \frac{45}{2} = 0.075 \text{ m}$$
$$A_S(40\phi 40) = 50280 \text{ mm}^2 \quad F_{sd} = 21.87 \text{ MN}$$

## 1. Schritt mit Näherung für Exzentrizität

$$\chi_{d,\max} = \frac{2 \cdot f_{sd}}{E_S \cdot h_S} = 2 \cdot \frac{0.435}{205 \cdot 1.36} = 3.12 \cdot 10^{-3} \text{ m}^{-1}$$

$$e_{2d} = \chi_d \cdot \frac{l_{cr}^2}{\pi^2} = 3.12 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{45^2}{\pi^2} = 0.64 \text{ m}$$

$$M_d = 15 \cdot (0.64 + 0.075) + 1.2 \cdot \frac{45}{2} = 10.73 + 27 = 37.73 \text{ MNm}$$

# Endzustand Brückenstütze

## 2. Schritt mit Berechnung von $M_{Rd}$

$$\frac{\varepsilon_S}{x - 0.07} = \frac{\varepsilon_{sd}}{1.43 - x} \quad \sigma_S = \varepsilon_S \cdot E_S = 0.435 \cdot \frac{x - d'}{d - x}$$

$$21.872 + 15.0 = 21.872 \cdot \frac{x - 0.07}{1.43 - x} + 70.125 \cdot x$$

$$x = 0.418 \text{ m} \quad F_{S,\text{sup}} = 7.53 \text{ MN} \quad F_C = 29.34 \text{ MN} \quad F_{sd} = 21.87 \text{ MN}$$

$$\varepsilon_{S,\text{sup}} = -0.731 \cdot 10^{-3} \quad \varepsilon_{S,\text{inf}} = 2.122 \cdot 10^{-3} \quad \chi_d = 2.098 \cdot 10^{-3} \text{ m}^{-1}$$

$$M_{Rd} = (21.872 + 7.53) \cdot 0.68 + 29.34 \cdot (0.75 - 0.178) = 36.78 \text{ MNm}$$

$$e_{2d} = 0.43 \text{ m}$$

$$M_d = 15 \cdot (0.43 + 0.075) + 27 = 7.6 + 27 = 34.6 \text{ MNm} < M_{Rd} = 36.78 \text{ MNm}$$

# Krümmungsverteilung

# c-Werte

$$e_{2d}^1 = \chi_d \cdot \frac{l_{cr}^2}{c}$$

$$\chi_d = \frac{M}{EJ}$$



q



Q

System								
c	$\pi^2$	8		12		9.6	16	

---

# Endzustand Brückenstütze

## 3. Schritt mit Berechnung von c

$$M_{Rd} = 36.78 \text{ MNm}$$

$$\chi_d = 2.098 \cdot 10^{-3} \text{ m}^{-1}$$

$$EJ = \frac{M_{Rd}}{\chi_d} = \frac{36.78}{2.098} \cdot 10^3 = 17.54 \cdot 10^3 \text{ MNm}^2$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot EJ}{l_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 17.54 \cdot 10^3}{45^2} = 85.49 \text{ MN}$$

$$c = \pi^2 \cdot \frac{15.0}{85.49} + \frac{15 \cdot 0.075 + 27}{\frac{\pi^2}{12} + \frac{27}{12}} \cdot \left(1 - \frac{15.0}{85.49}\right) = 11.54$$

$$e_{2d} = \chi_d \cdot \frac{l_{cr}^2}{c} = 0.368 \text{ m}$$

$$M_d = 15 \cdot (0.368 + 0.075) + 27 = 33.6 \text{ MNm} < M_{Rd} = 36.8 \text{ MNm}$$

# Endzustand Brückenstütze

## Kontrolle Kriechen

$$N_d = 15 \text{ MN}$$

$$e_{0d} = 0.075 \text{ m}$$

$$M_{1d} = 15 \cdot 0.075 = 1.13 \text{ MNm}$$

$$W_C = 1.875 \text{ m}^3$$

$$A_C = 7.5 \text{ m}^2$$

$$\varphi = 2$$

$$\sigma_{\text{inf}} = -1.4 \text{ N/mm}^2 \quad \sigma_{\text{sup}} = -2.6 \text{ N/mm}^2$$

$$\Delta\sigma = 1.2 \text{ N/mm}^2$$

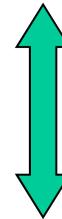
$$\Delta\varepsilon_\varphi = \frac{1.2}{30} \cdot 10^{-3} \cdot \varphi = 0.08 \cdot 10^{-3}$$

$$\Delta\chi_{d\varphi} = \frac{0.08}{1.5} \cdot 10^{-3} = 0.053 \cdot 10^{-3} \text{ m}^{-1}$$

$$\Delta e_{2d,\varphi} = 0.053 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{45^2}{\pi^2} = 11 \text{ mm}$$



vernachlässigen



**SIA 262**

$$\chi_{d,irr} = \frac{|\varepsilon_{c\infty}|}{d} = \frac{\varphi \cdot \Delta\sigma_C}{d \cdot E_{c0}} = \frac{2 \cdot 1.2}{1.43 \cdot 30} \cdot 10^{-3} = 0.056 \cdot 10^{-3} \text{ m}^{-1}$$

---

# Zusammenfassung Stützenbemessung

SIA 262 unterscheidet 4 Berechnungsphasen

1. **Bemessung auf der Basis der Krümmung gemäss (62) und mit  $c = \pi^2$  (64)**
2. **Aufgrund der in 1. Ermittelten Bewehrung kann die Krümmung mit Hilfe der Dehnungsebene oder mit dem Q-Diagramm ermittelt werden**
3. **In der dritten Phase kann der Wert  $c$  aufgrund der effektiven Krümmungsverteilung verbessert werden**
4. **In einer vierten Phase kann die Rissbildung und das plastische, nicht lineare Verhalten mit einer numerischen Analyse berücksichtigt werden**