



Mechanik und Tragkonstruktion

Stahlbeton

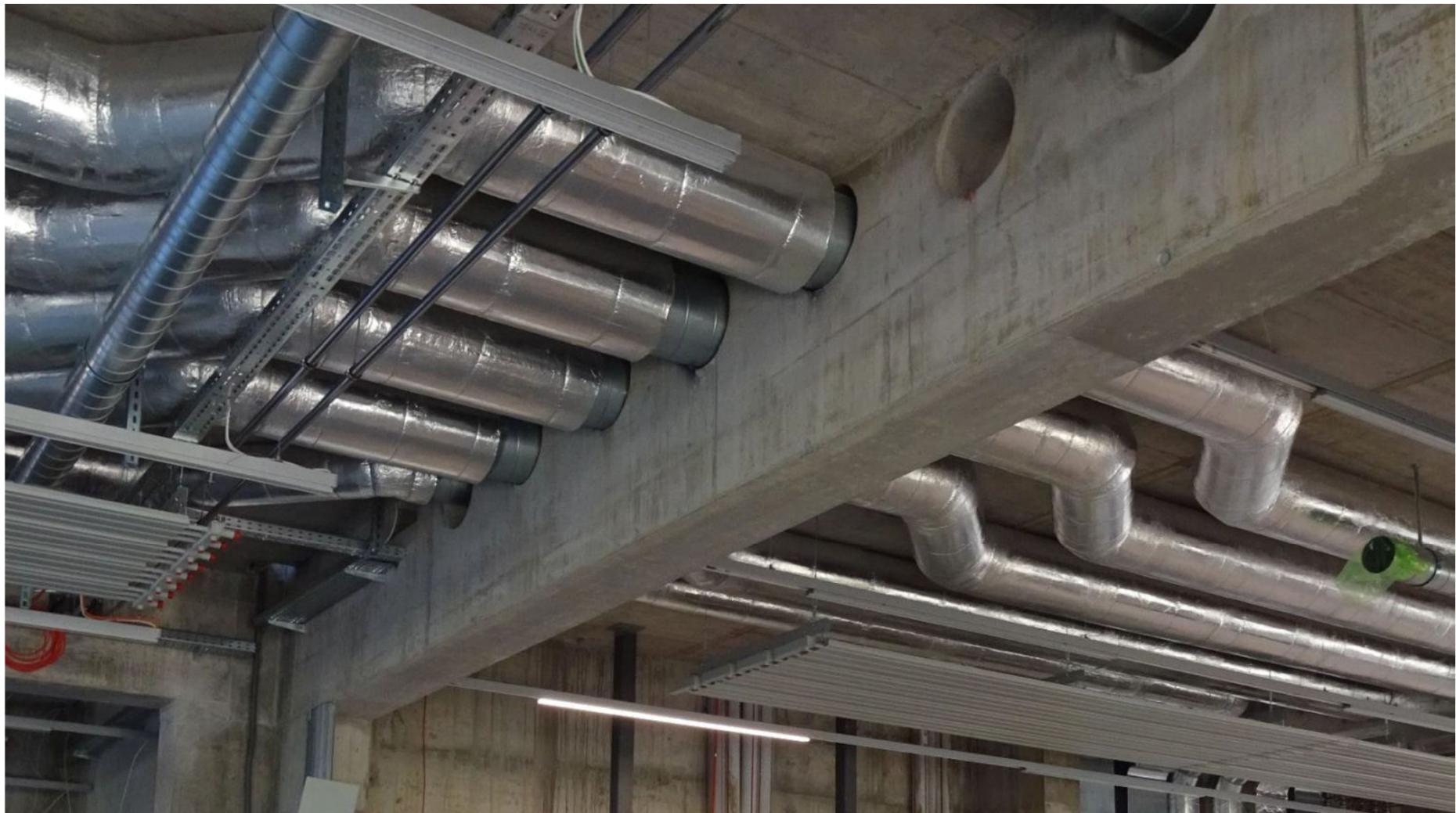
1. Grundbegriffe/Herangehensweise an eine Planungsaufgabe/Beanspruchungen
2. Zentrales Kraftsystem
3. Allgemeines Kraftsystem
4. Tragwerke/Lasten
5. Biegeträger – Schnittkräfte
6. Festigkeitslehre – Querschnittskennwerte, Berechnung von Spannungen, Verformungen
7. Stahlbetonbalken

- Bauweisen des Stahlbetonbaus
- Herstellung
- Tragmechanismus bei Biegung
- Bemessung für Biegemomente

Stahlbetonbalken | Bauweisen



Skelettbau



Unterzugdecke



Halbfertigteile

Bestandteile von Beton (Massen-%)

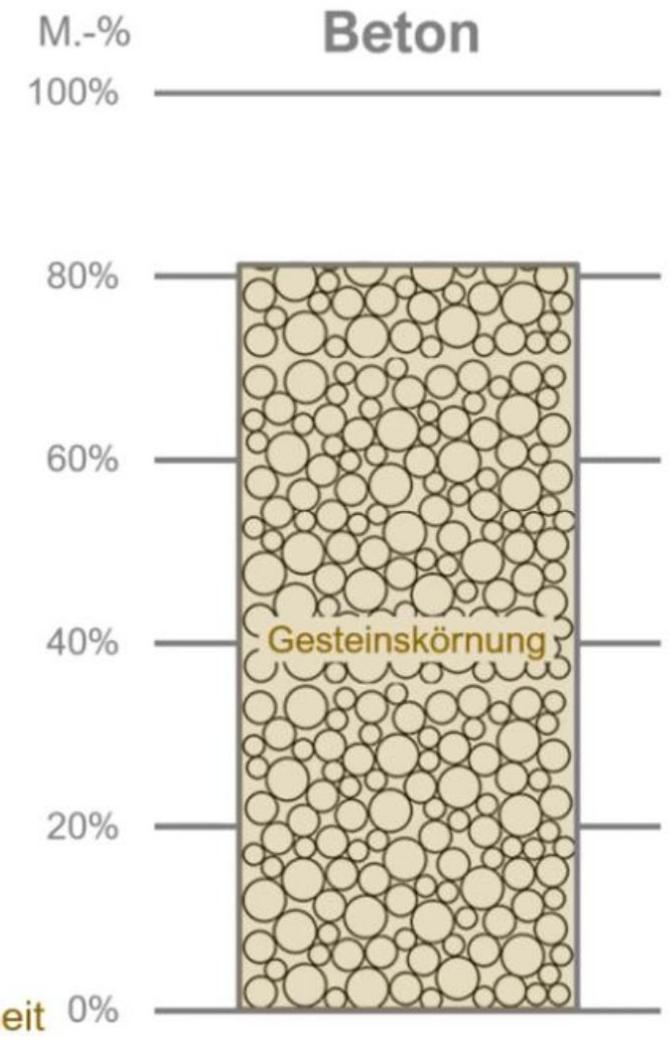


1 m³ Beton
2.400 kg

Einflüsse der Gesteinskörnung

- Kornfestigkeit
- Korngröße
- Kornform
- Kornzusammensetzung
- Gehalt an Feinanteilen
- Frostwiderstand

- Betonfestigkeit
- Verarbeitbarkeit
- Zement+Wasser-Anteil
- Volumen
- Hohlraumgehalt
- Oberflächenbeschaffenheit



Stahlbetonbalken | Herstellung



Erklärvideo: Herstellung von Transportbeton

Stahlbetonbalken | Herstellung



Betonage

Stahlbetonbalken | Herstellung



Verdichten mit der Rüttelbirne

Stahlbetonbalken | Herstellung



Balkenbewehrung

Stahlbetonbalken | Herstellung



Balkenschalung

Stahlbetonbalken | Herstellung

Erforderliche Betondeckung

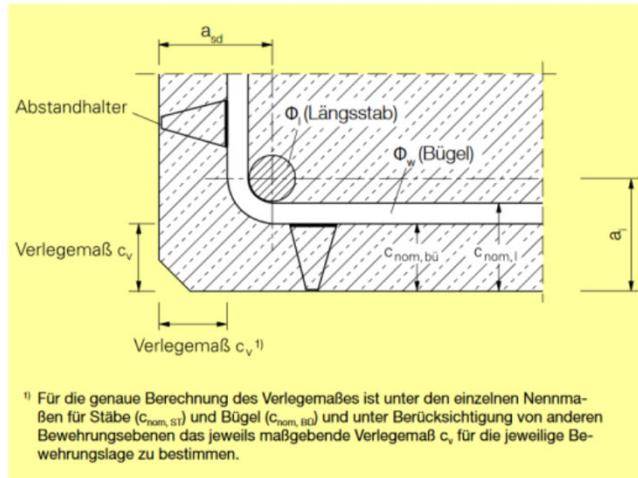


Bild 2: Grafische Darstellung von Nennmaß und Verlegemaß der Betondeckung

Nennmaß der Betondeckung für die Berechnung:

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

c_{min} : einzuhaltendes Mindestmaß

Δc_{dev} : Vorhaltemaß

Betondeckung

Expositionsklassen

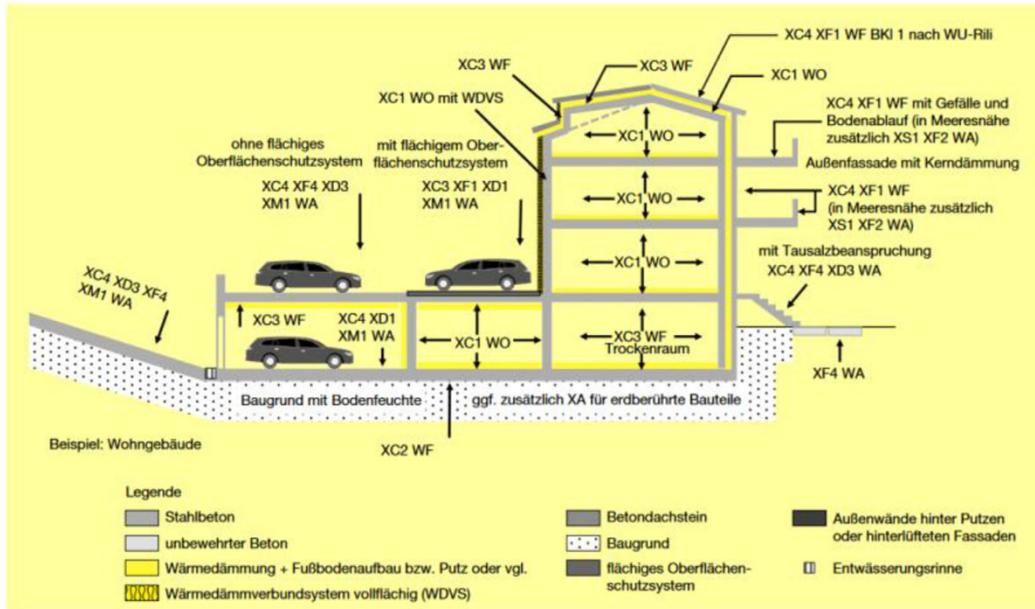


Bild 1: Beispiel für mehrere, gleichzeitig zutreffende Exposition- und Feuchtigkeitsklassen an einem Wohnhaus

Tafel 16: Betondeckung der Bewehrung für die indikative Mindestfestigkeitsklasse¹⁾ des Betons

Expositionsklasse	Festigkeitsklasse f_{ck}	Stabdurchmesser ²⁾ Φ bzw. Φ_n [mm]	Mindestmaß c_{min} [mm]	Vorhaltemaß Δc_{dev} [mm]	Nennmaß c_{nom} [mm]
XC1	$\geq C16/20$	bis 10	$c_{min,dur} = 10$	10	20
		12 - 14	$c_{min,b} = 12 - 14$	10	25
		16 - 20	$c_{min,b} = 16 - 20$	10	30
		25	$c_{min,b} = 25$	10	35
		28	$c_{min,b} = 28$	10	40
		32	$c_{min,b} = 32$	10	45
XC2	$\geq C16/20$	bis 20	$c_{min,dur} = 20$	15	35
		25	$c_{min,b} = 25$	10 ³⁾	35
		28	$c_{min,b} = 28$	10 ³⁾	40
		32	$c_{min,b} = 32$	10 ³⁾	45
XC3	$\geq C20/25$	bis 20	$c_{min,dur} = 20$	15	35
		25	$c_{min,b} = 25$	10 ³⁾	35
		28	$c_{min,b} = 28$	10 ³⁾	40
XC4	$\geq C25/30$	bis 25	$c_{min,dur} = 25$	15	40
		28	$c_{min,b} = 28$	10 ³⁾	40
		32	$c_{min,b} = 32$	10 ³⁾	45
XD1, XS1	$\geq C30/37$ ⁴⁾	bis 32	$c_{min,dur} + \Delta c_{dur} = 40$	15	55
XD2, XS2	$\geq C35/45$ ⁵⁾				
XD3 ⁴⁾ , XS3	$\geq C35/45$ ⁵⁾				

¹⁾ Bei mehreren zutreffenden Expositionsklassen für ein Bauteil ist jeweils die Expositionsklasse mit der höchsten Anforderung maßgebend (indikative Mindestfestigkeitsklasse). Alle Angaben für Normalbeton bis max. Großtromm 32 mm und ohne Berücksichtigung von Vorspannbewehrung. Ggf. zusätzliche Vergrößerung bzw. Verminderung der Betondeckung (siehe unten). Der Tafel liegt die Anforderungsklasse S3 für Deutschland zugrunde.

²⁾ Bei Stabbindeln ist anstelle Φ der Vergleichsdurchmesser Φ_{av} maßgebend.

³⁾ Da Verbundsicherung maßgeblich, hier nur mit $\Delta c_{dev} \geq 10$ mm nach DIN EN 1992-1-1, 4.4.1.2 (3)

⁴⁾ Für XD3 sind ggf. zusätzlich besondere Maßnahmen zum Korrosionsschutz der Bewehrung notwendig.

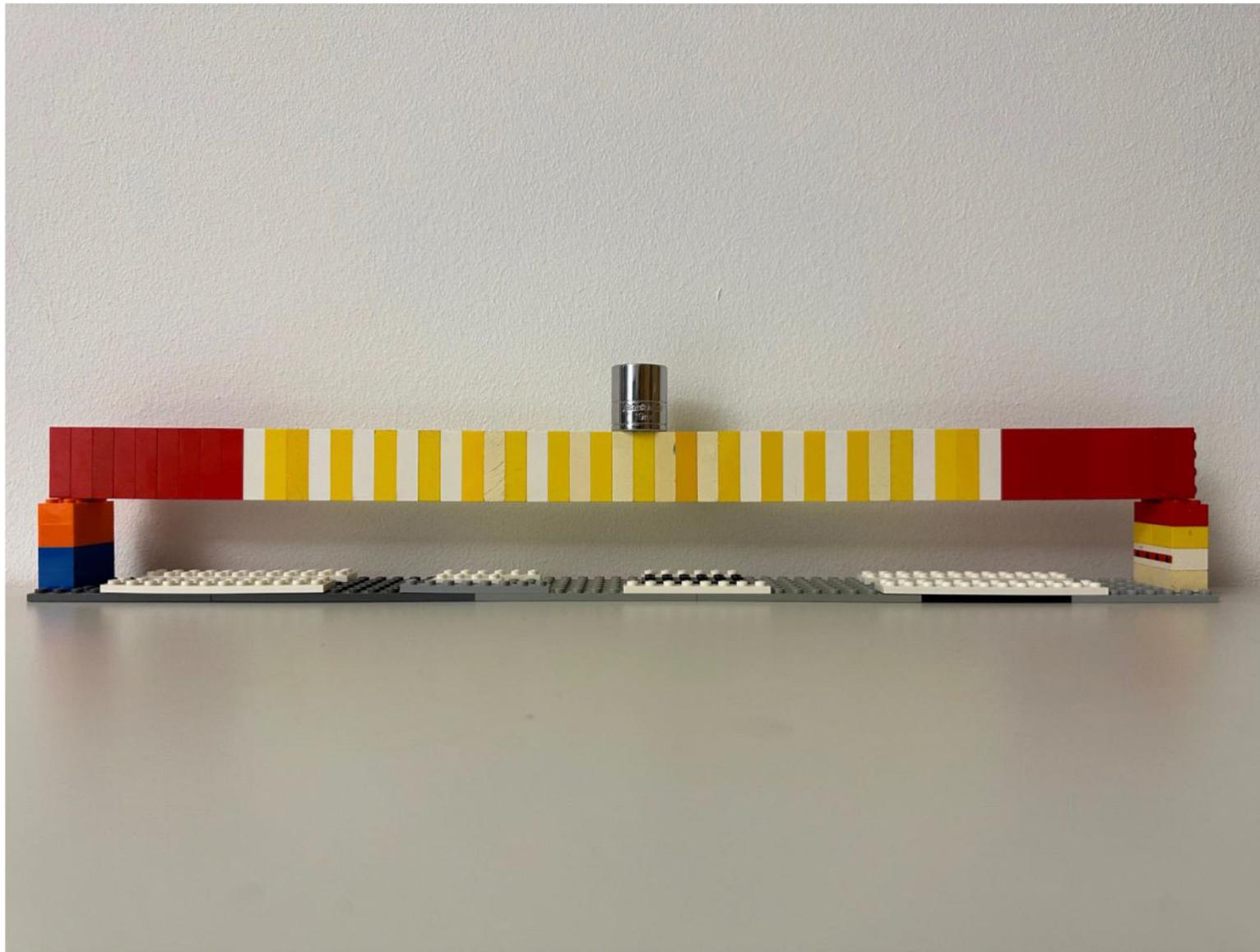
⁵⁾ Bei Luftporenbeton, z. B. wegen gleichzeitiger Expositionsklasse XF, eine Festigkeitsklasse niedriger.

Stahlbetonbalken | Tragmechanismus Biegung



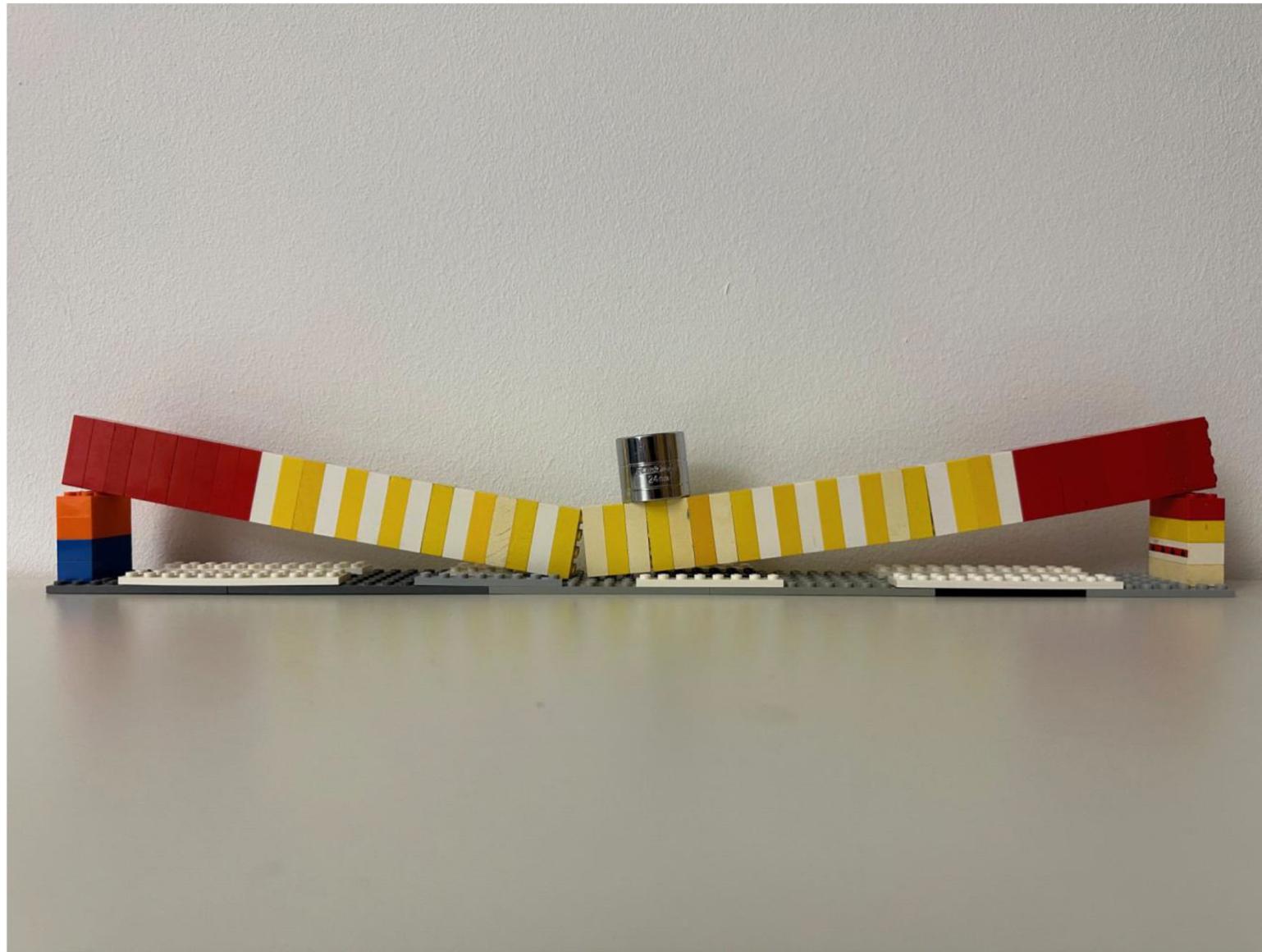
Versagen mit Rissen in der Zugzone

Stahlbetonbalken | Tragmechanismus Biegung



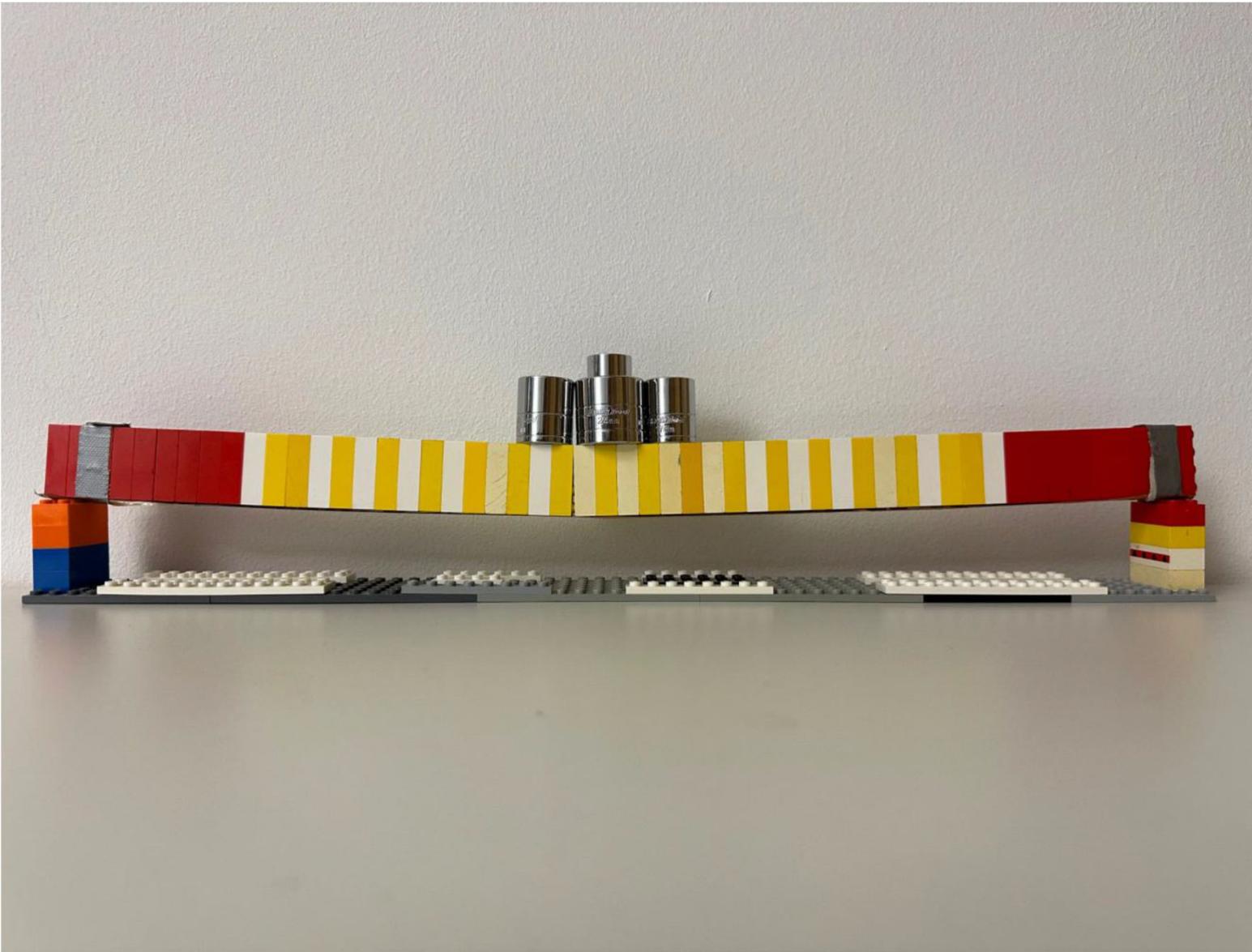
Unbewehrter Beton

Stahlbetonbalken | Tragmechanismus Biegung



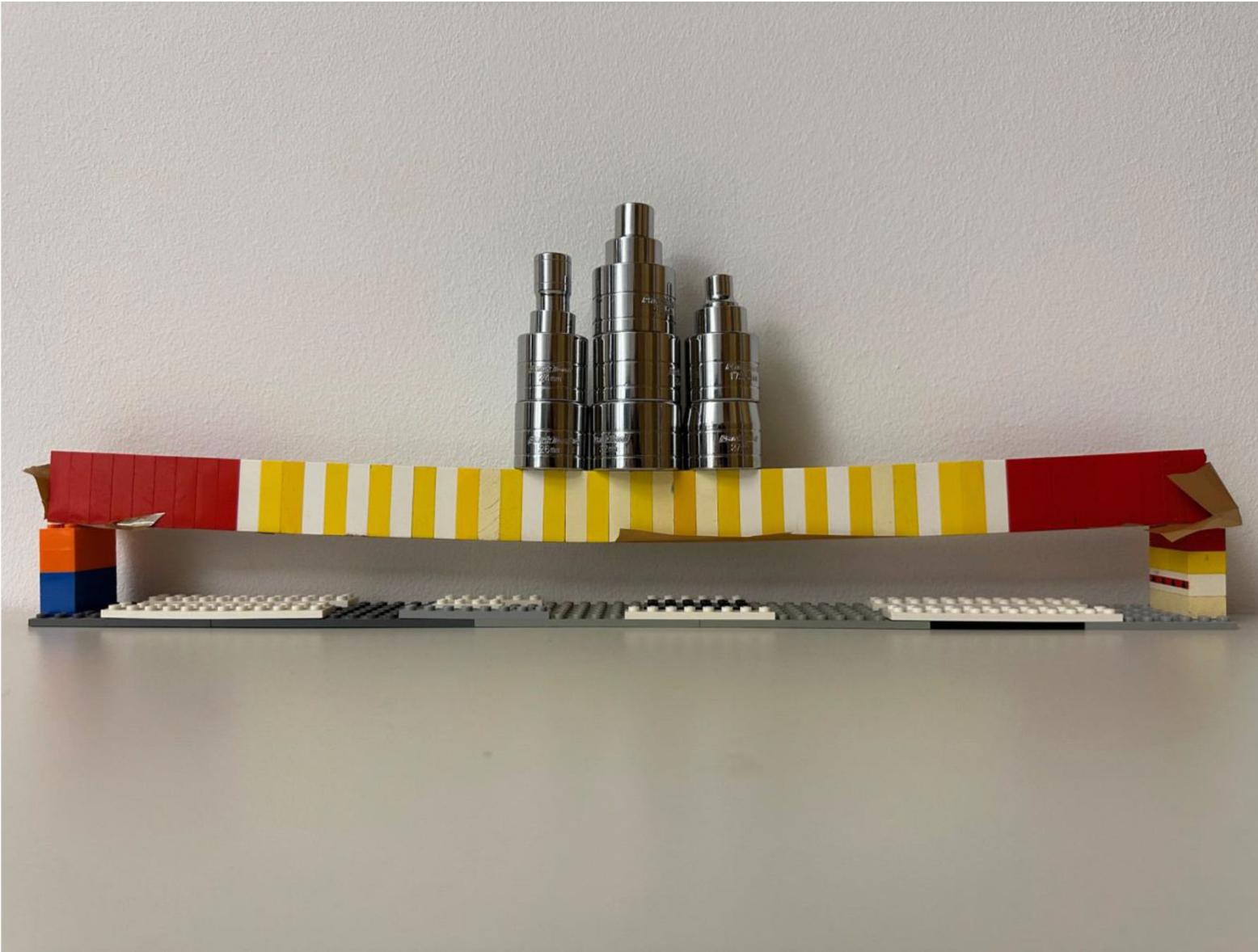
Unbewehrter Beton

Stahlbetonbalken | Tragmechanismus Biegung



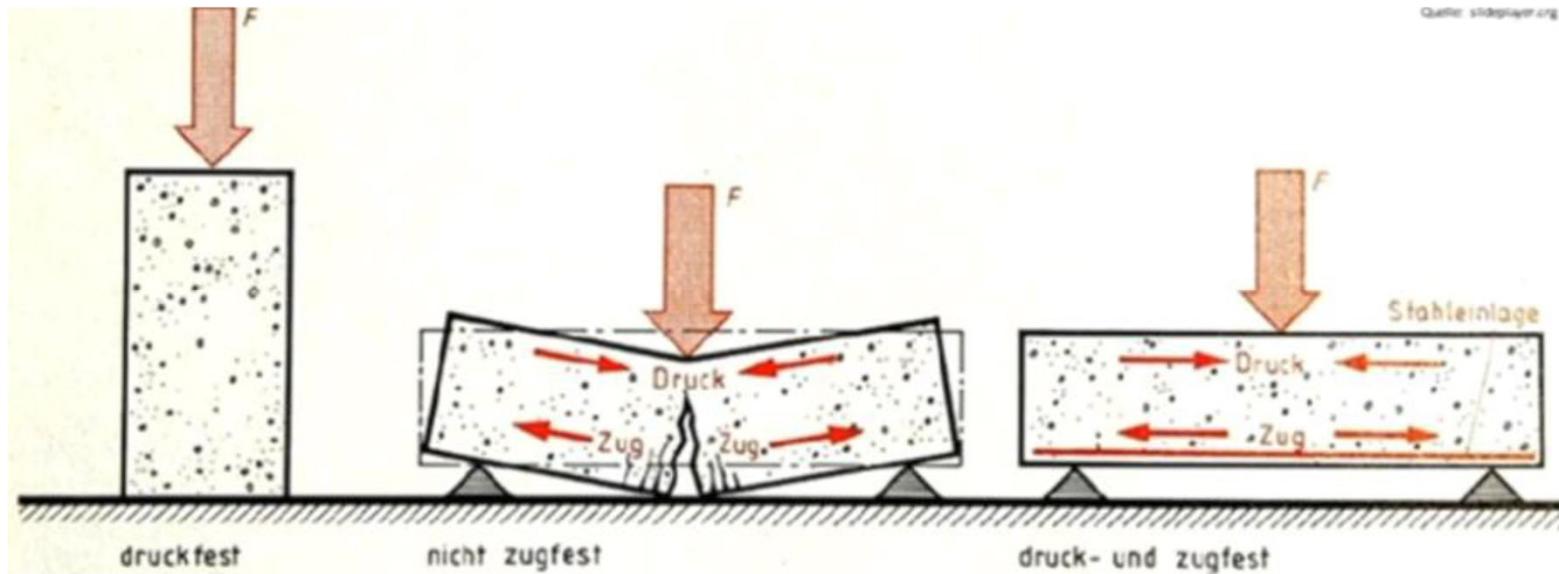
Unbewehrter Beton mit Stahlunterspannung (kein Verbund)

Stahlbetonbalken | Tragmechanismus Biegung



Unbewehrter Beton mit Bewehrung im Verbund

Stahlbetonbalken | Tragmechanismus Biegung



Mechanische Eigenschaften des Normalbeton üblich

Normalbeton C	12/15 ¹⁾	16/20	20/25	25/30	30/37	35/45	40/50	45/55	50/60	55/67	60/75	70/85	80/95	90/105 ²⁾	100/115 ²⁾	Analytische Beziehung / Anm.
Druckfestigkeit f_{ck}	12	16	20	25	30	35	40	45	50	55	60	70	80	90	100	Zylinderdruckfestigkeit f_{ck}
	f_{cm}	20	24	28	33	38	43	48	53	58	63	68	78	88	98	$f_{cm} = f_{ck} + 8 \text{ N/mm}^2$
Zugfestigkeit f_{ctm}	1,6	1,9	2,2	2,6	2,9	3,2	3,5	3,8	4,1	4,2	4,4	4,6	4,8	5,0	5,2	$f_{dm} = 0,30 \cdot f_{ck}^{2/3} \leq C50/60$ $f_{dm} = 2,12 \cdot \ln(1+(f_{cm}/10)) > C50/60$
	$f_{ctk;0,05}$	1,1	1,3	1,5	1,8	2,0	2,2	2,5	2,7	2,9	3,0	3,1	3,2	3,4	3,5	$f_{dk;0,05} = 0,7 \cdot f_{ctm}$
	$f_{ctk;0,95}$	2,0	2,5	2,9	3,3	3,8	4,2	4,6	4,9	5,3	5,5	5,7	6,0	6,3	6,6	$f_{dk;0,95} = 1,3 \cdot f_{dm}$
	E_{cm}	27000	29000	30000	31000	33000	34000	35000	36000	37000	38000	39000	41000	42000	44000	$E_{cm} = 22 \cdot (f_{cm}/10)^{0,3}$
Dehnung	ε_{c1} %	1,80	1,90	2,00	2,10	2,20	2,25	2,30	2,40	2,45	2,50	2,60	2,70	2,80	2,80	Siehe Gl. (31.1) und zug. Abb.
	ε_{cu1} %					3,50					3,20	3,00	2,80	2,80	2,80	
Dehnung	ε_{c2} %					2,00					2,20	2,30	2,40	2,50	2,60	Siehe Gl. (31.3) und zug. Abb.
	ε_{cu2} %					3,50					3,10	2,90	2,70	2,60	2,60	
Exponent	n					2,00					1,75	1,60	1,45	1,40	1,40	Exponent n für Gl. (31.3)
Dehnung	ε_{c3} %					1,75					1,80	1,90	2,00	2,20	2,30	Gilt für die bilineare σ - ε -Linie nach S. 5.31
	ε_{cu3} %					3,50					3,10	2,90	2,70	2,60	2,60	

Spannungs-Dehnungs-Beziehung:
Parabel-Rechteck-Diagramm

Bemessungswert der Druckspannung:

$$f_{cd} = \alpha_c \cdot f_{ck} / \gamma_c$$

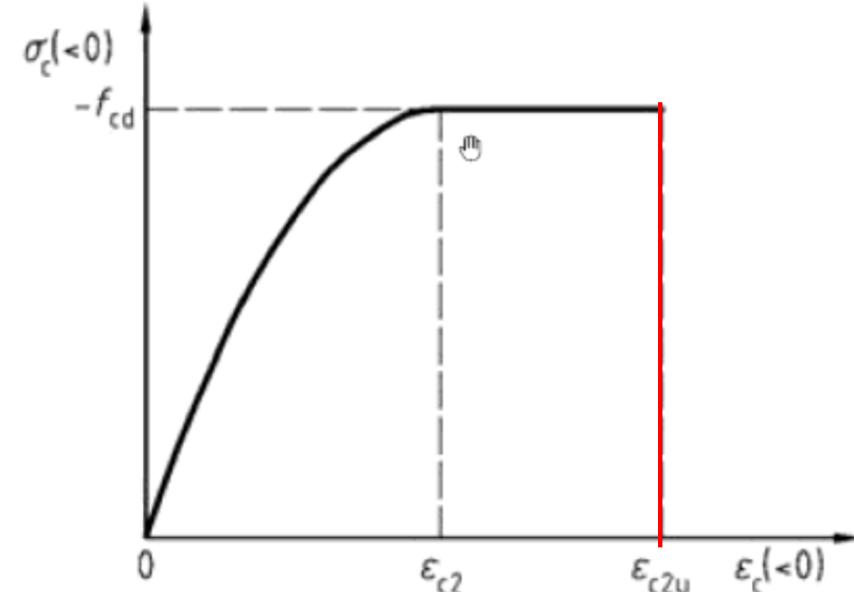
Bis C50/60:

Dauerstandsbeiwert: $\alpha_c = 0,85$

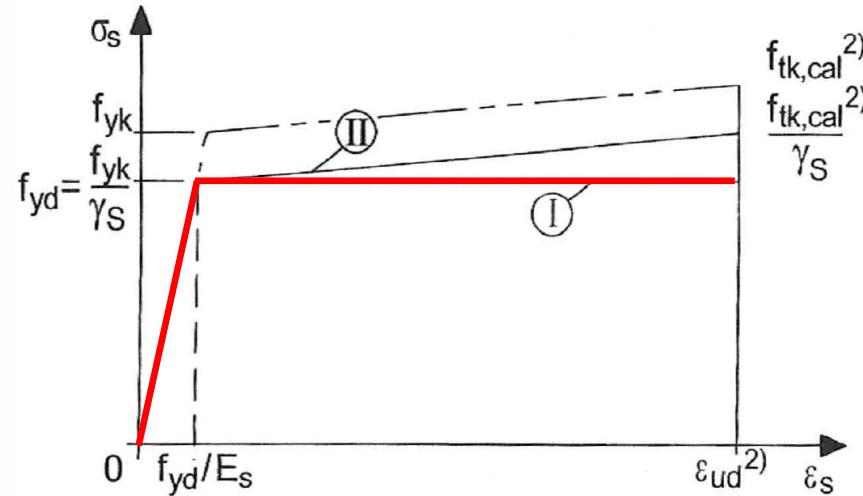
Teilsicherheitsbeiwert Beton: $\gamma_c = 1,5$

Grenzstauchung: $\varepsilon_{c2u} = 3,5 \text{ \%}$

Quelle: Schneider Bautabellen



Mechanische Eigenschaften des Betonstahls (oder auch Bewehrungsstahl)



Quelle: Schneider Bautabellen

Üblicher Betonstahl (Stäbe oder Matten): B500 → $f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$

Teilsicherheitsbeiwert Betonstahl: $\gamma_s = 1,15$

Bemessungswert der Zugspannung: $f_{yd} = f_{yk}/\gamma_s = 500/1,15 = 435 \text{ N/mm}^2$

E-Modul: $E_s = 200.000 \text{ N/mm}^2$

Dehnung bei Beginn des Plastizierens: $f_{yd}/E_s = 435/200.000 \cdot 1000 \% = 2,18 \%$

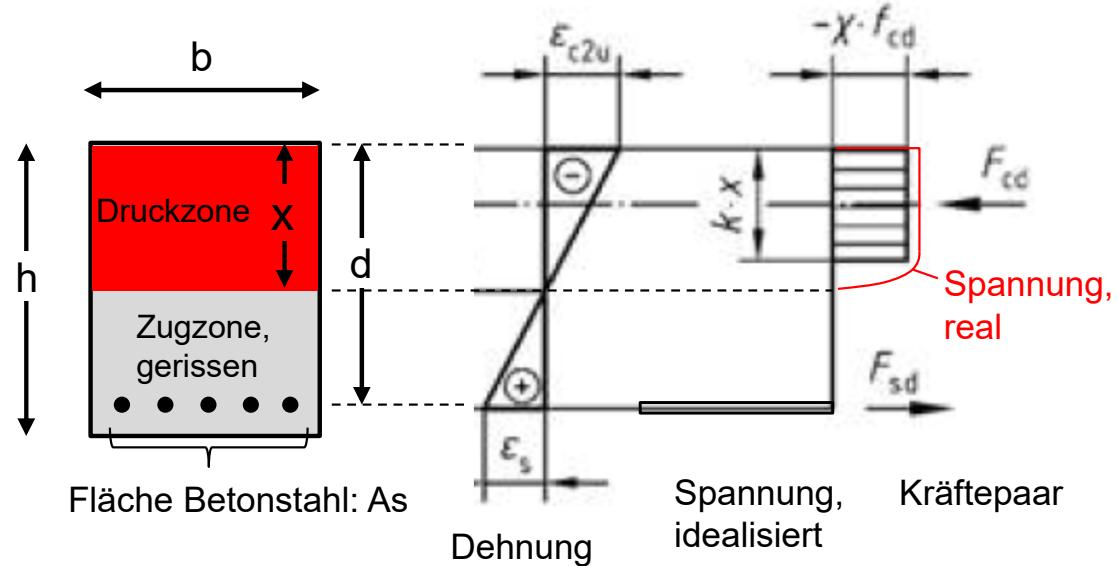
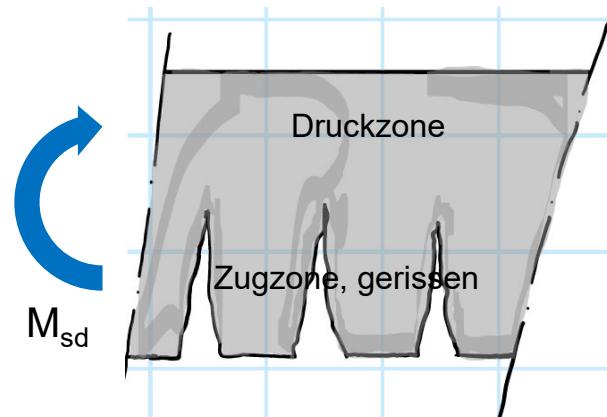
Grenzdehnung: $\varepsilon_{ud} = 25 \%$

Übliche Durchmesser und zugehörige Querschnittsflächen:

Durchmesser [mm]	8	10	12	14	16	20	25	28
Fläche [cm^2]	0,50	0,79	1,13	1,54	2,01	3,14	4,91	6,16

Stahlbetonbalken | Bemessung für Biegemomente

Modell für den inneren Abtrag eines Biegemomentes M



h: Balkenhöhe; **b:** Balkenbreite

d: statische Höhe: **d** von der Oberkante bis zum Schwerpunkt der Bewehrung

x: Höhe der Druckzone

z: innerer Hebelarm, näherungsweise $z = 0,8 \cdot d$

Anpassungsfaktoren für die Druckspannungsverteilung: $\kappa = 0,8$ und $\chi = 0,94$

Rechengang für eine überschlägige Bemessung → Skript Kapitel 7.2

7.2. Vorbemessung Stahlbetonträger

① Einwirkendes Moment:

$$M_{sd} \text{ bestimmen} = M_G \cdot 1,35 + M_Q \cdot 1,5$$

Eigengewicht Verkehr
Wind Schneefall

Sicherheitsbasierte Lastsaite:

$$\gamma_G = 1,35 \quad \gamma_Q = 1,5$$

zusätzlich berücksichtigen

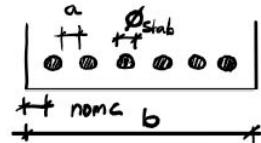
② Querschnitt als □ vorgeben:

$$b = \dots \quad h = \dots \quad g_{Träger} = b \cdot h \cdot 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

③ Innerer Hebelarm: $z = 0,8 \cdot d - 0,8 \cdot (\text{h-Betondeckung})$ (Betondeckung wird vorgegeben)

④ Bewehrung auf Zugseite vorgeben

8 mm	10 mm	12 mm	14 mm	16 mm	20 mm	25 mm	28 mm
0,50 cm ²	0,79 cm ²	1,13 cm ²	1,54 cm ²	2,01 cm ²	3,14 cm ²	4,91 cm ²	6,16 cm ²



mit Mindestabstand:

$a > 20 \text{ mm}$ oder $a > \Ø_{stab}$ überprüfen, wie viele Stäbe hineinpassen

$$n = \frac{(b - 2 \cdot \text{nom } c)}{2 \cdot \Ø_{stab}} \Rightarrow A_s = n \cdot \overbrace{A_{Ø_{stab}}}^{\text{Tabelle}}$$

⑤ F_{sd} berechnen: $F_{sd} = A_s \cdot f_y d = A_s \cdot \frac{50 \text{ kN}/\text{cm}^2}{1,15}$

mit $\text{nom } c = \text{Betondeckung}$

⑥ $M_{sd} = F_{sd} \cdot z$

Stahlbetonbalken | Bemessung für Biegemomente

Beispiel:

3-feldrige Unterzugsdecke

Deckenplatte 18cm dick, einachsig gespannt

Gesucht: Bemessung der Unterzüge $h/b=60/60$

Nutzlast: $q = 3,5 \text{ kN/m}^2$

Ausbau last: $1,5 \text{ kN/m}^2$

