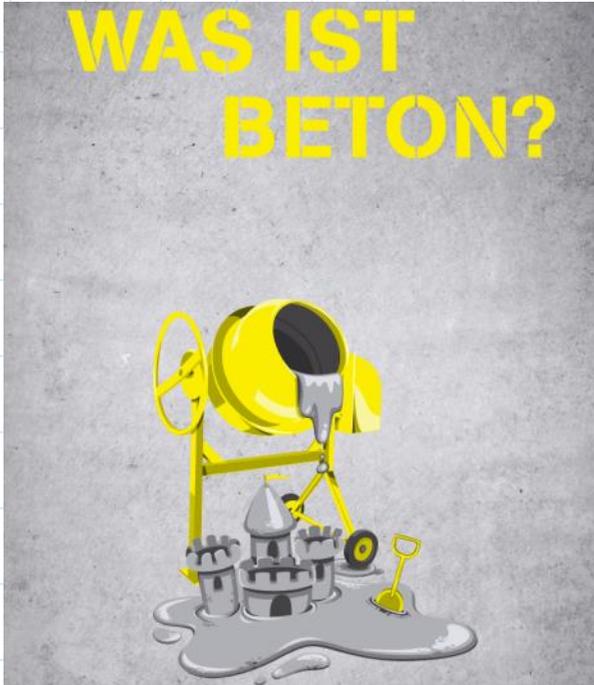


Beton



Beton – was ist das eigentlich? Herkömmlicher Beton besteht aus Zement, Wasser und Gesteinskörnungen wie Sand und Kies, die in natürlichen Lagerstätten gewonnen werden. Die Ausgangsstoffe sind in sehr unterschiedlichen Mengen im Beton enthalten: Bezogen auf sein Gewicht stecken in einem Kubikmeter Beton etwa 14 % Zement und 7 % Wasser. Der übrige Teil des Betons setzt sich aus Kies und Sand zusammen.



ZUBEREITUNG

Die «Zutaten» werden in einem Transportbeton- oder Fertigbetonwerk zu einer homogenen Masse gemischt. Die Konsistenz variiert dabei von sehr flüssig bis ziemlich fest – je nach Bedarf und Einsatzgebiet. Ersetzt man z. B. den schweren Kies durch leichtere Gesteinskörnungen, erhält man sogenannte Leichtbetone, die sogar im Wasser schwimmen können. Dementsprechend lassen sich durch Hinzugabe besonders schwerer Gesteinskörnungen auch Schwerbetone erzeugen, die zum Beispiel beim Reaktorbau, bei Röntgenanlagen und als Strahlenschutz in Medizin und Forschung verwendet werden. Sie verhindern bzw. verringern das Austreten gefährlicher Strahlungen. Die verschiedenen Zusammensetzungen werden von Beton-Technologien in Laboren entwickelt und geprüft, bevor sie zum Einsatz kommen.



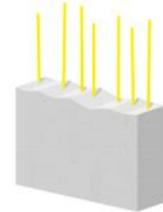
VERARBEITUNG

Der frische Beton wird direkt zur Baustelle gebracht und dort in eine vorbereitete Form (Schalung) eingeleitet. Nach zwei bis drei Stunden ist der Beton bereits fest. Allerdings dauert es 28 Tage, bis er seine endgültige Härte erreicht hat. Die Schalung kann in der Regel trotzdem schon nach wenigen Tagen abgenommen werden, da der Beton dann fest genug ist, um die Form zu halten und Lasten zu tragen.



ERHÄRTUNG

Bei der Erhärtung handelt es sich um einen natürlichen Prozess. Der Beton muss nicht wie Ton gebrannt werden, sondern kann in Ruhe «reifen». Durch die chemische Reaktion von Wasser und Zement entsteht eine Masse (Mörtel), die nach und nach immer härter wird und dabei die Sand- und Kieskörner in sich einschließt.



EIGENSCHAFTEN

Beton ist der festeste aller Massivbaustoffe. Daher lässt er in puncto Stabilität und **Druckfestigkeit** auch harte Konkurrenten wie Ziegel oder Kalksandstein hinter sich zurück. Eine durchschnittliche Betonmischung trägt bis zu 50 N/mm² – drei- bis achtmal so viel wie die genannten Mauersteine. Oder anders gesagt: Ein Betonquader in Postkartengröße könnte das Gewicht von 30 Mittelklassewagen tragen, ohne zu zerbrechen.

Die Druckfestigkeit gibt an, wie widerstandsfähig ein Werkstoff bei der Einwirkung von Druckkräften ist.

Weil jedoch die **Zugfestigkeit** von Beton nur 10 bis 15 Prozent der Druckfestigkeit beträgt, werden in die meisten Betonbauteile Stäbe aus Bewehrungsstahl eingebaut. Auf diese kann ein großer Teil der Zugkraft somit abgeleitet werden.

Die Zugfestigkeit gibt die Spannung im Werkstoff an, die er aushält, bevor er bricht oder reißt.

Während der praktische Nutzen von Beton auf der Hand liegt, ist sein ästhetischer Reiz nicht sofort erkennbar. Sicherlich trägt nicht jeder Zweckbau aus Beton zur Verschönerung der Umgebung bei. Der so unscheinbar wirkende Baustoff eröffnet jedoch große gestalterische Möglichkeiten. Deshalb stellen wir euch die Werke dreier Betonkünstler vor, denen es gelungen ist, ihn geschickt in Szene zu setzen.



DER MINIMALIST – TADAO ANDO

Der japanische Architekt verbindet die schlichte Ästhetik seiner Heimat mit modernen Bauweisen. Er verwendet Sichtbetonstrukturen, deren Größe und Form traditionellen Reiströhrmaten ähneln. Sie werden nach Prinzipien der Geometrie und Wiederholung arrangiert, wodurch ihre stille, erhabene Wirkung verstärkt wird.

DIE SCHWERLOSE – ZAHA HADID (1950-2016)

Aus dem architektonischen Werk der irakischen Allround-Künstlerin Zaha Hadid scheint jede Schwere verschwunden zu sein – und das, obwohl bei der Realisierung ihrer Entwürfe tonnenweise Beton zum Einsatz gekommen ist. Sie hat den Baustoff als materielle Grundlage ihrer Arbeit begriffen, als Ausgangspunkt, den sie dann nach und nach durch andere Materialien ergänzt hat. Sie schätzte Beton vor allem wegen seiner rauen, erdigen Ausstrahlung. Hochglanzfassaden konnte sie hingegen wenig abgewinnen.

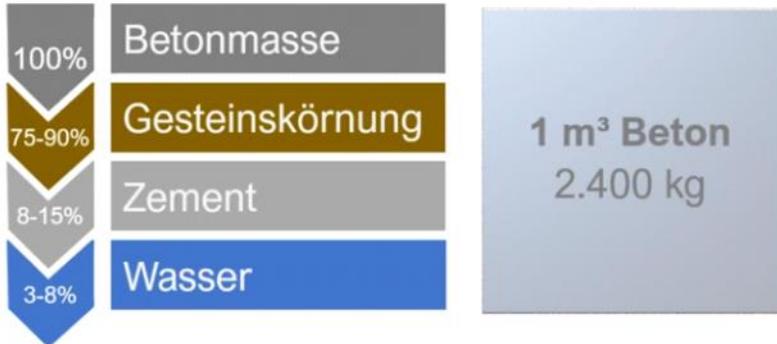


SCHAUT EUCH DOCH DIE KUNSTWERKE IM INTERNET EINMAL AN!



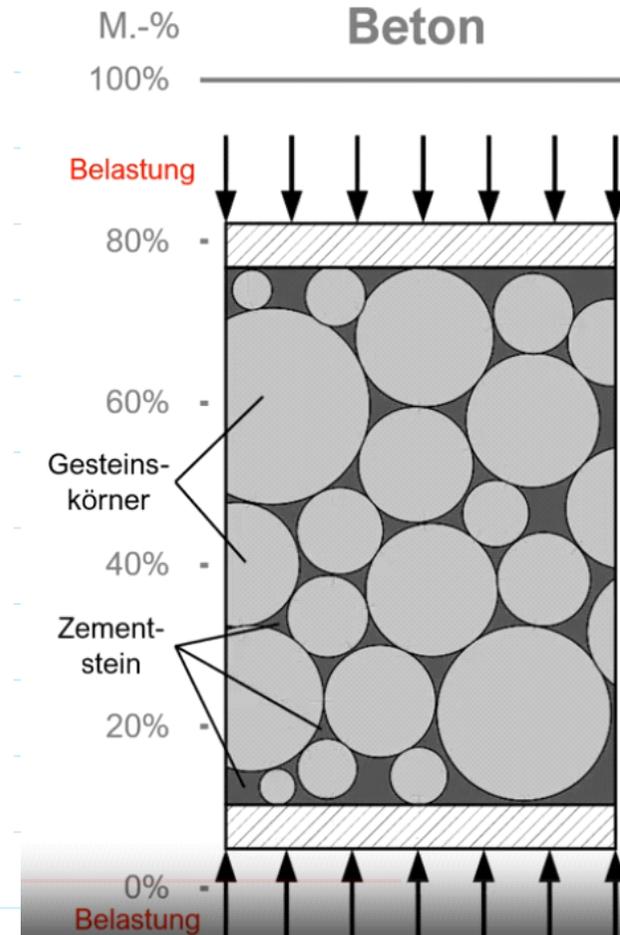
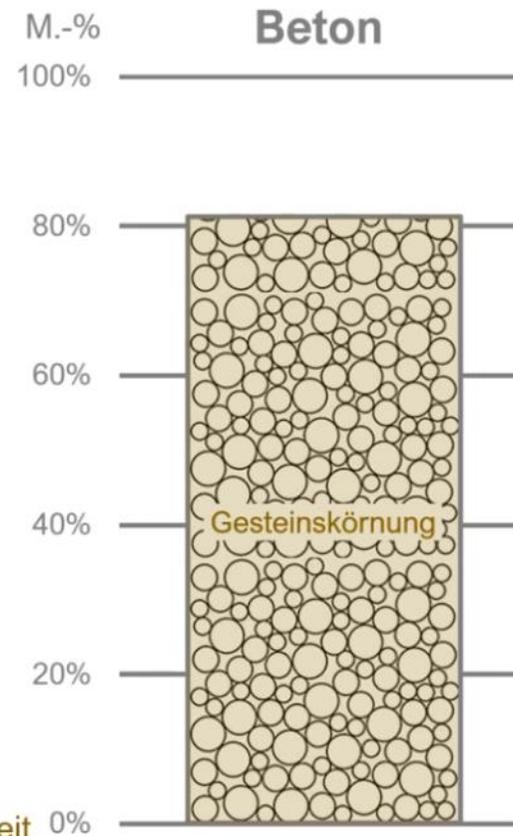
Beton

Bestandteile von Beton (Massen-%)



Einflüsse der Gesteinskörnung

- Kornfestigkeit
 - Korngröße
 - Kornform
 - Kornzusammensetzung
 - Gehalt an Feinanteilen
 - Frostwiderstand
- Betonfestigkeit
 - Verarbeitbarkeit
 - Zement+Wasser-Anteil
 - Volumen
 - Hohlraumgehalt
 - Oberflächenbeschaffenheit



Betonherstellung

[Erklärvideo: Herstellung von Transportbeton](#)



Stahlbetonskelettbau



Stahlbeton-Unterzugdecke



Stahlbeton-Unterzugdecke



Stahlbeton-Unterzugdecke



Stahlbeton-Unterzugdecke



Stahlbeton-Unterzugdecke



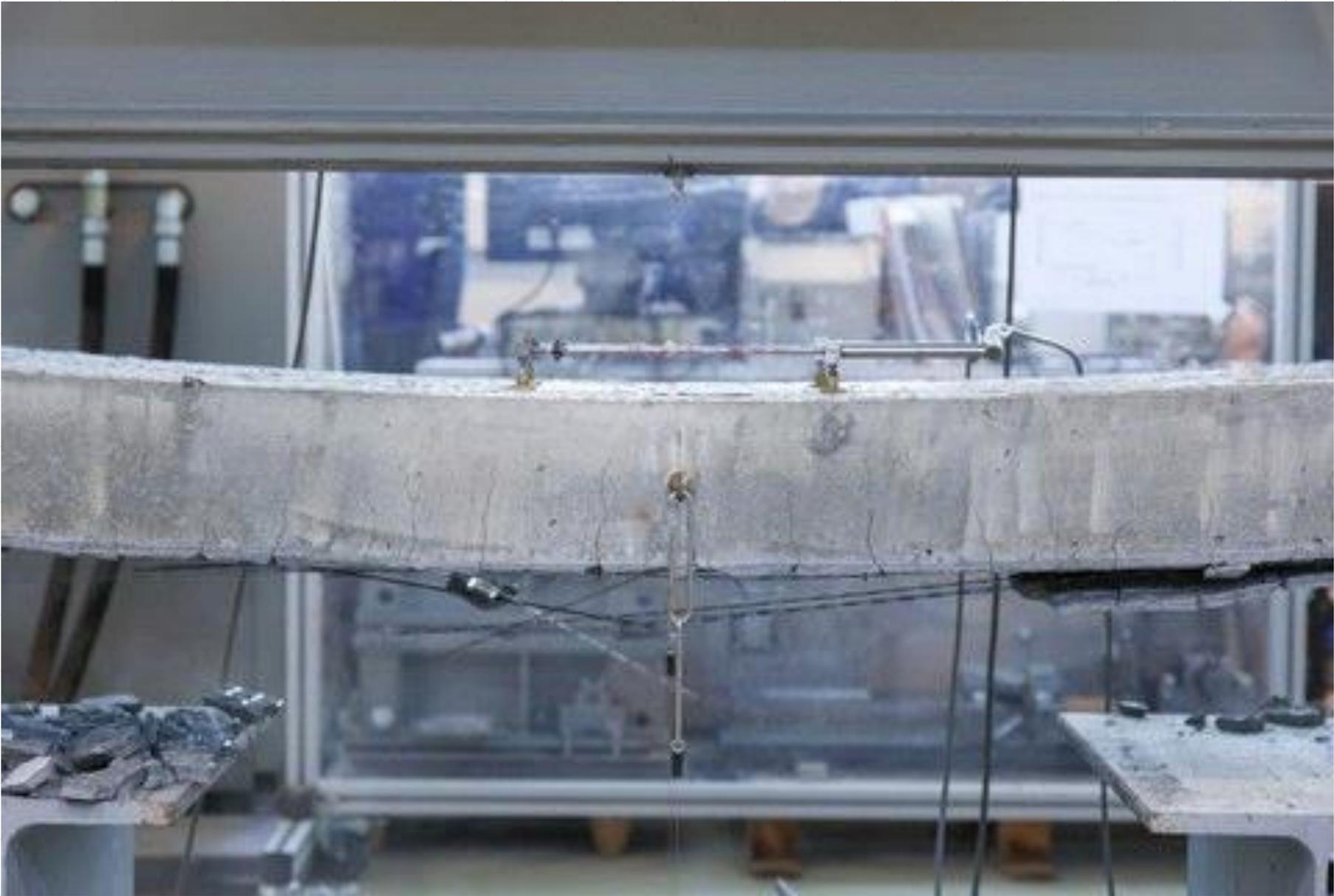
Stahlbeton-Unterzugdecke



Stahlbeton-Unterzugdecke



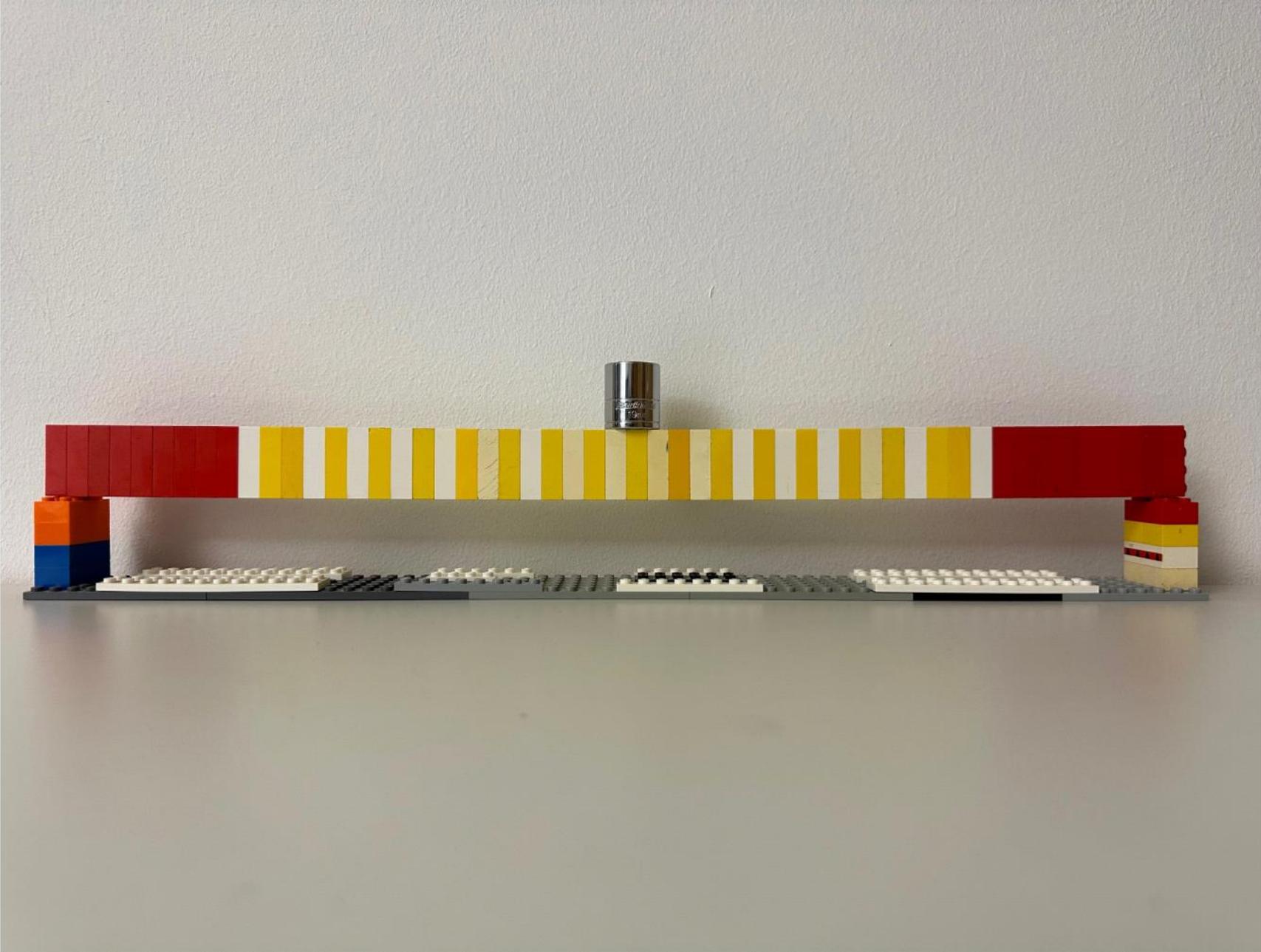
Stahlbeton-Untertzugdecke



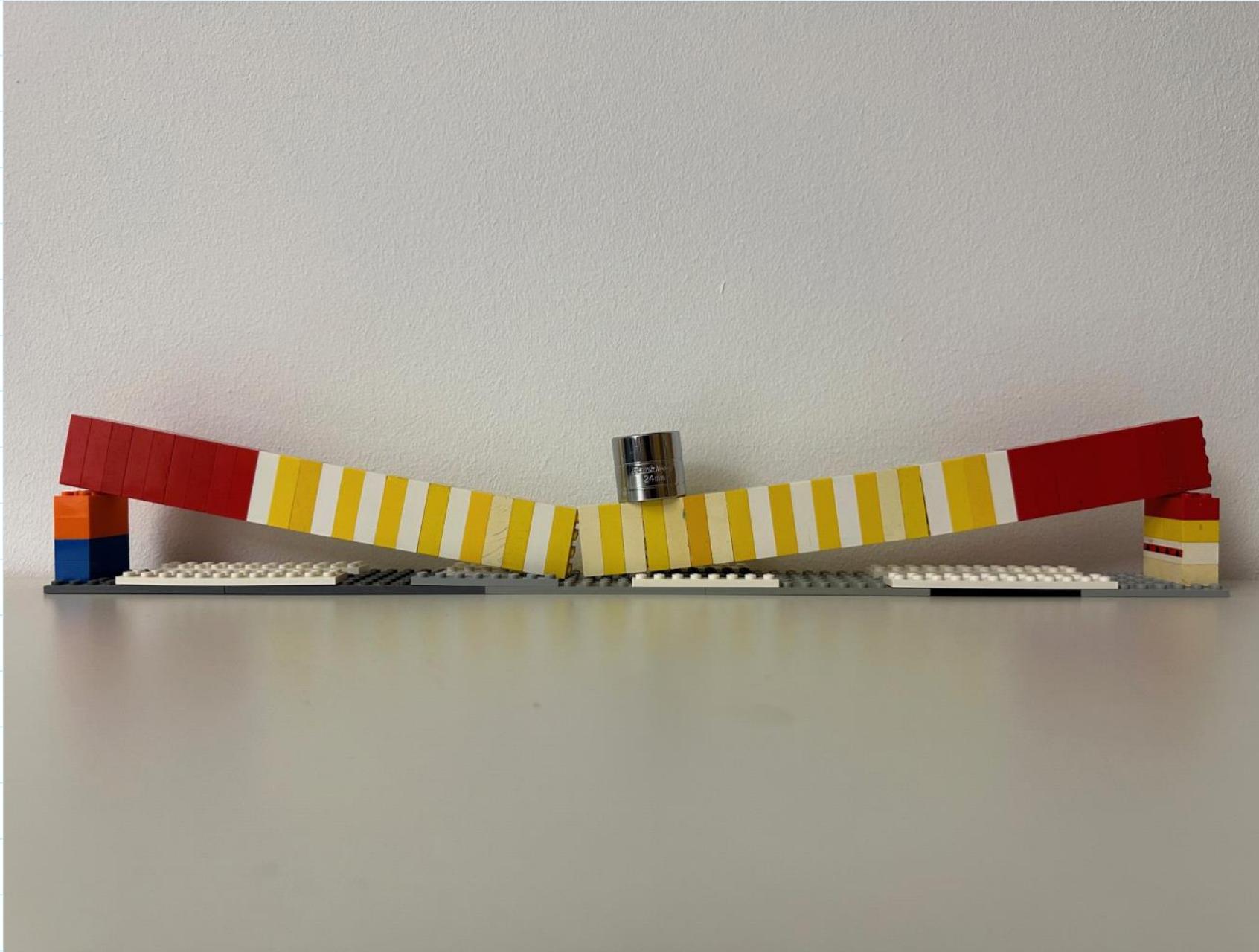
Stahlbeton-Unterzugdecke



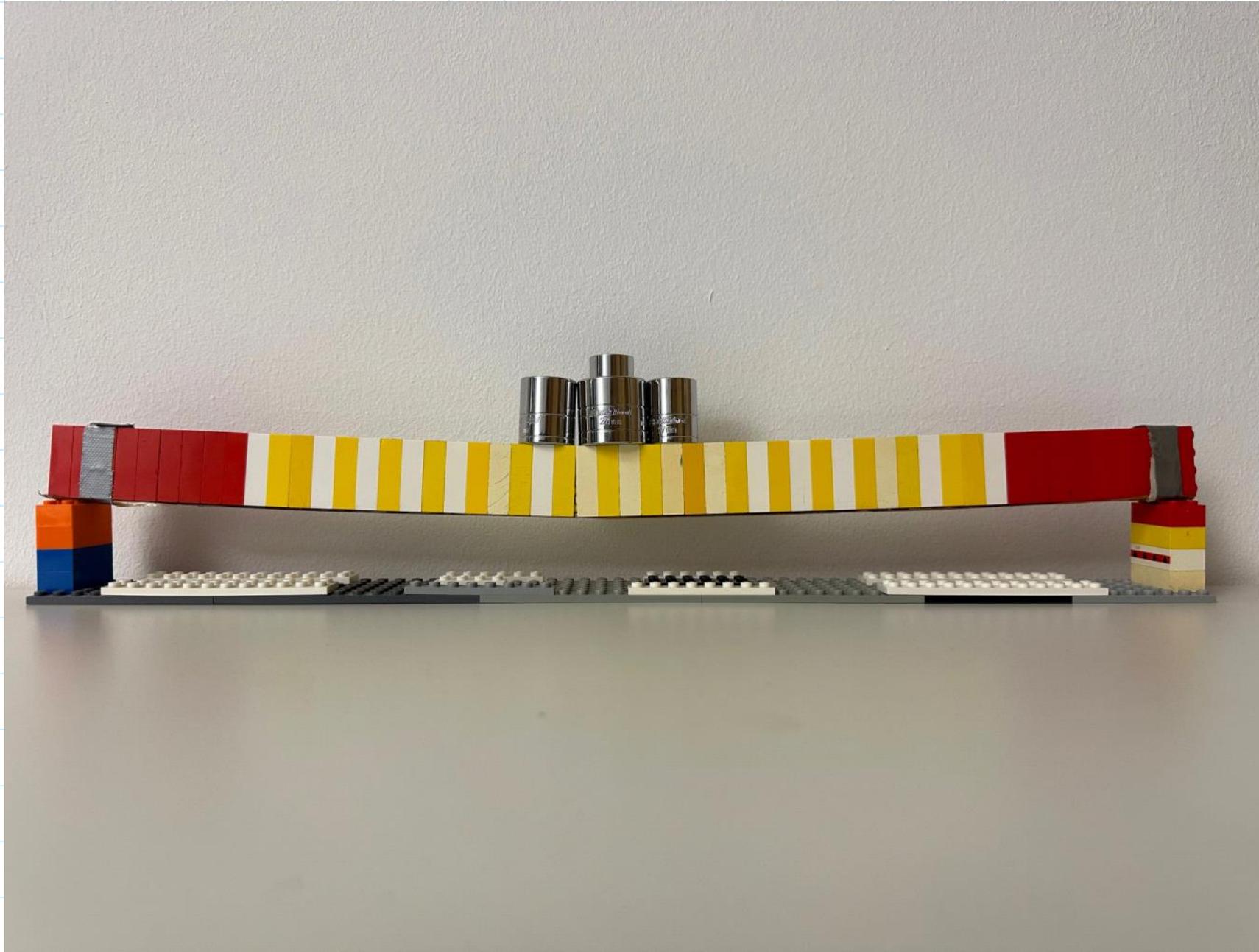
Stahlbeton-Unterzugdecke: **Unbewehrter Beton**



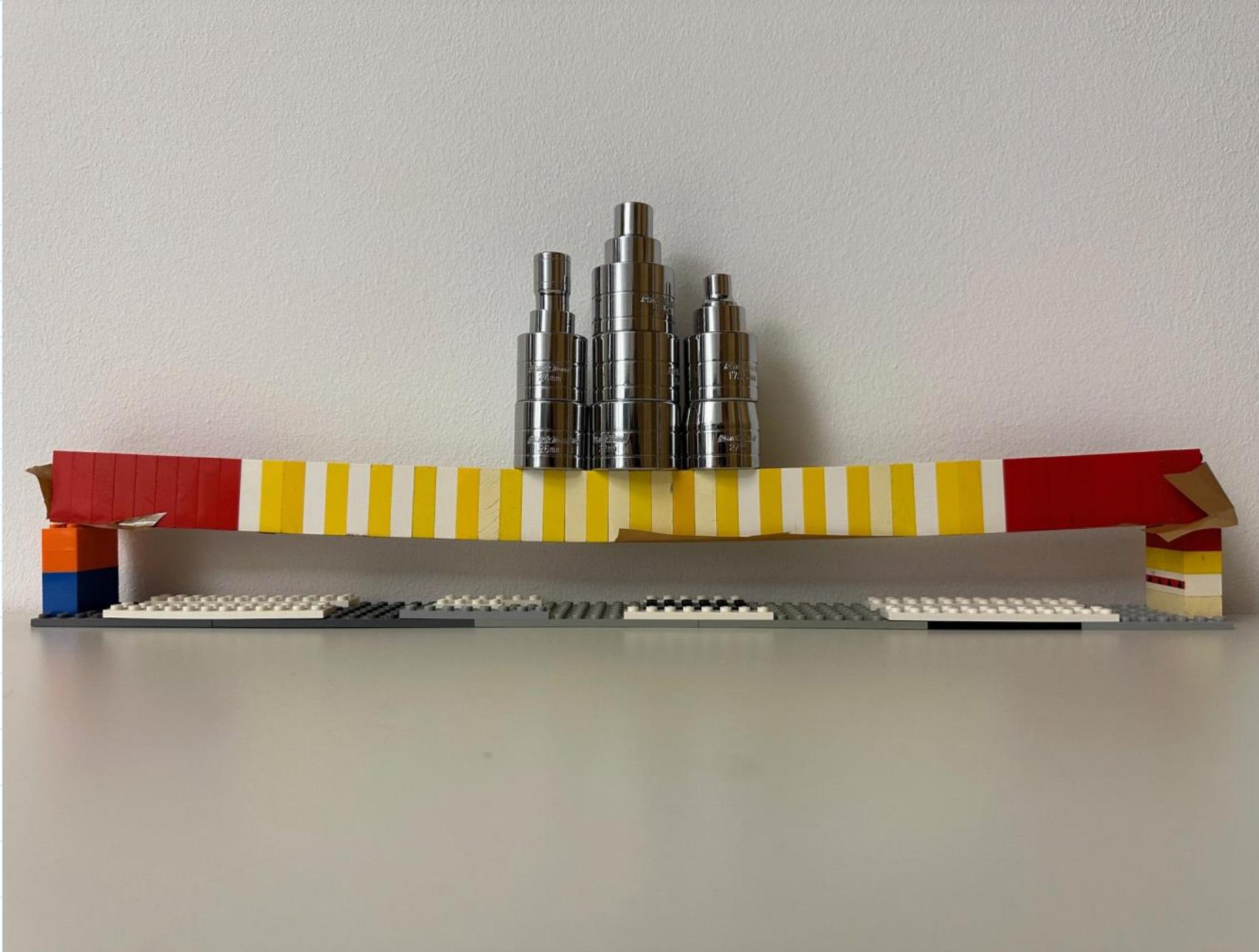
Stahlbeton-Unterkonstruktion: Unbewehrter Beton



Stahlbeton-Unterzugdecke: Unbewehrter Beton mit Stahlunterspannung (kein Verbund)

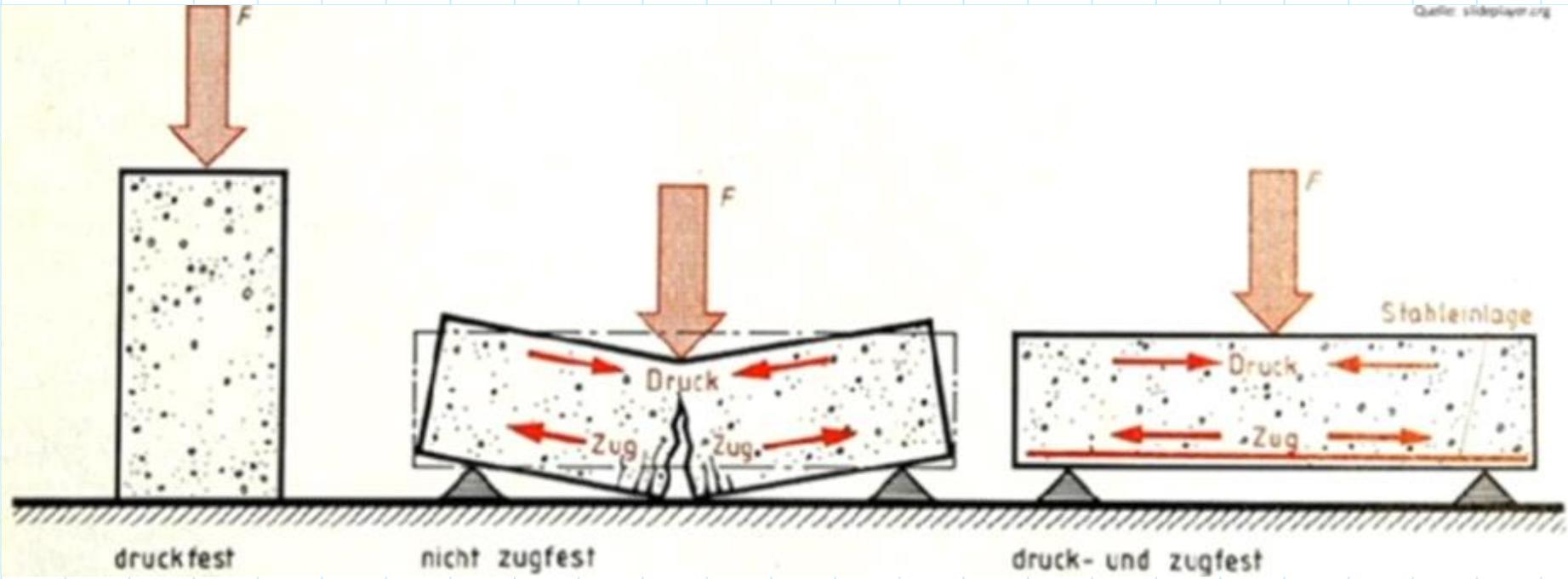


Stahlbeton-Untertzugdecke: Unbewehrter Beton mit Bewehrung im Verbund



Stahlbeton-Unterzugdecke

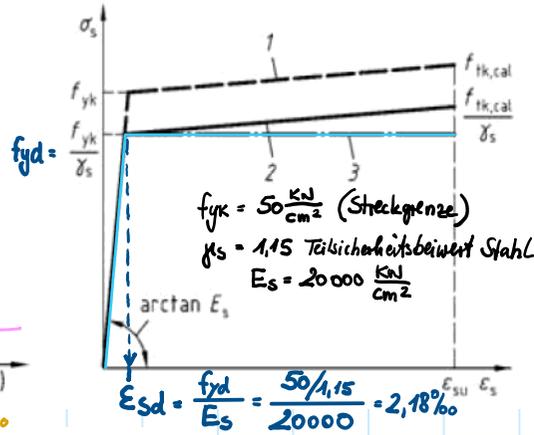
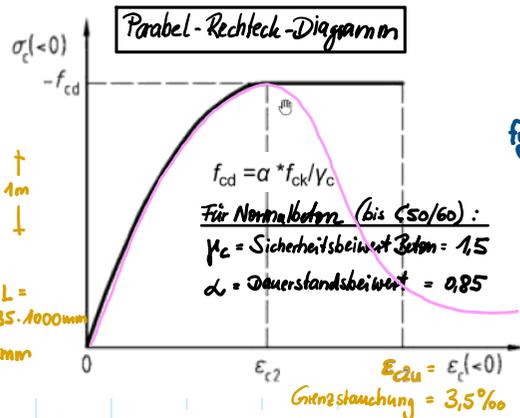
Quelle: stbplanung.org



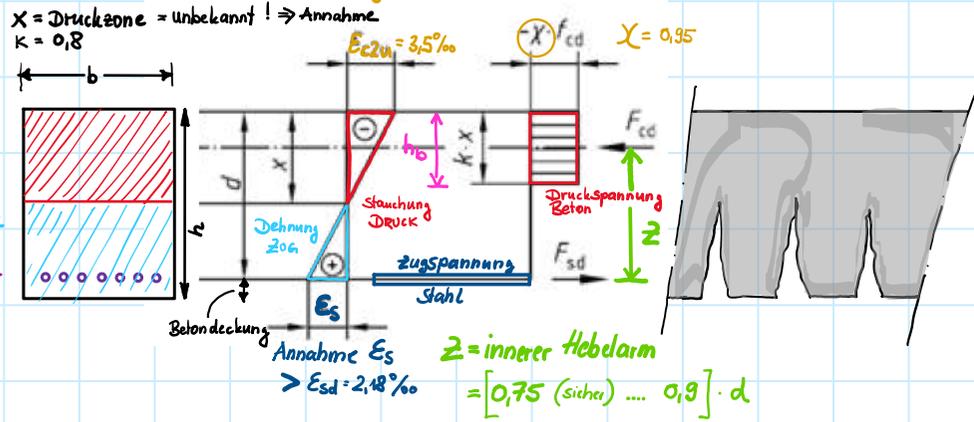
Stahlbeton-Vorbemessung für Rechteckquerschnitte

Beton im Druckbereich

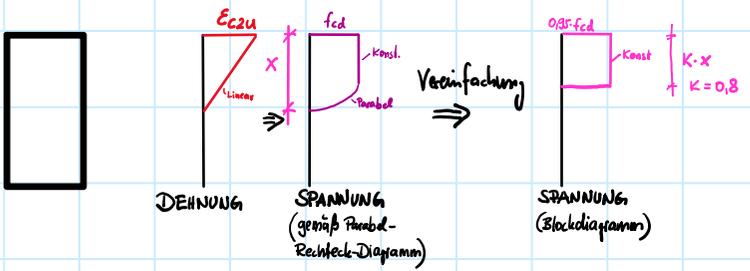
Betonstahl im Zugbereich



$\Delta L = \epsilon \cdot L = 0,0035 \cdot 1000 \text{mm} = 3,5 \text{mm}$



Kenngroße	Festigkeitsklassen														analytische Beziehung; Erläuterung				
	NORMALBETON																		
1	f_{ck}	12 ^a	16	20	25	30	35	40	45	50	55	60	70	80	90	100	N/mm^2		
2	$f_{ck, \text{cube}}$	15	20	25	30	37	45	50	55	60	67	75	85	95	105	115	N/mm^2		
3	f_{cm}	20	24	28	33	38	43	48	53	58	63	68	78	88	98	108	$f_{cm} = f_{ck} + 8$ N/mm^2		
4	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	5,2	$f_{ctm} = 0,30 f_{ck}^{(2/3)}$ bis C50/60 $f_{ctm} = 2,12 \ln(1 + f_{cm}/10)$ ab C55/67		
5	$f_{ctk; 0,05}$	1,1	1,3	1,5	1,8	2	2,2	2,5	2,7	2,9	3	3,1	3,2	3,4	3,5	3,7	$f_{ctk; 0,05} = 0,7 f_{ctm}$ 5 %-Quantil		
6	$f_{ctk; 0,95}$	2	2,5	2,9	3,3	3,8	4,2	4,6	4,9	5,3	5,5	5,7	6	6,3	6,6	6,8	$f_{ctk; 0,95} = 1,3 f_{ctm}$ 95 %-Quantil		
7	E_{cm}^b	$\eta E \cdot E_{cm}$											40600	42300	43800	45200	$E_{cm} = 9500 (f_{ck} + 8)^{1/3}$ N/mm^2		
8	ϵ_{c1}	-1,8	-1,9	-2,1	-2,2	-2,3	-2,4	-2,5	-2,55	-2,6	-2,65	-2,7	-2,8	-2,9	-2,95	-3,0	$\text{in } \infty$; gilt nur für Bild 22		
9	ϵ_{c1u}	-3,5											-3,4	-3,3	-3,2	-3,1	-3,0	-3,0	$\text{in } \infty$; gilt nur für Bild 22
10	n	2,0											2,0	1,9	1,8	1,7	1,6	1,55	
11	ϵ_{c2}	-2,0											-2,03	-2,06	-2,1	-2,14	-2,17	-2,2	$\text{in } \infty$; gilt nur für Bild 23
12	ϵ_{c2u}	-3,5											-3,1	-2,7	-2,5	-2,4	-2,3	-2,2	$\text{in } \infty$; gilt nur für Bild 23
13	ϵ_{c3}	-1,35											-1,35	-1,4	-1,5	-1,6	-1,65	-1,7	$\text{in } \infty$; gilt nur für Bild 24
14	ϵ_{c3u}	-3,5											-3,1	-2,7	-2,5	-2,4	-2,3	-2,2	$\text{in } \infty$; gilt nur für Bild 24



Stahlbeton-Expositionsklasse und Betondeckung

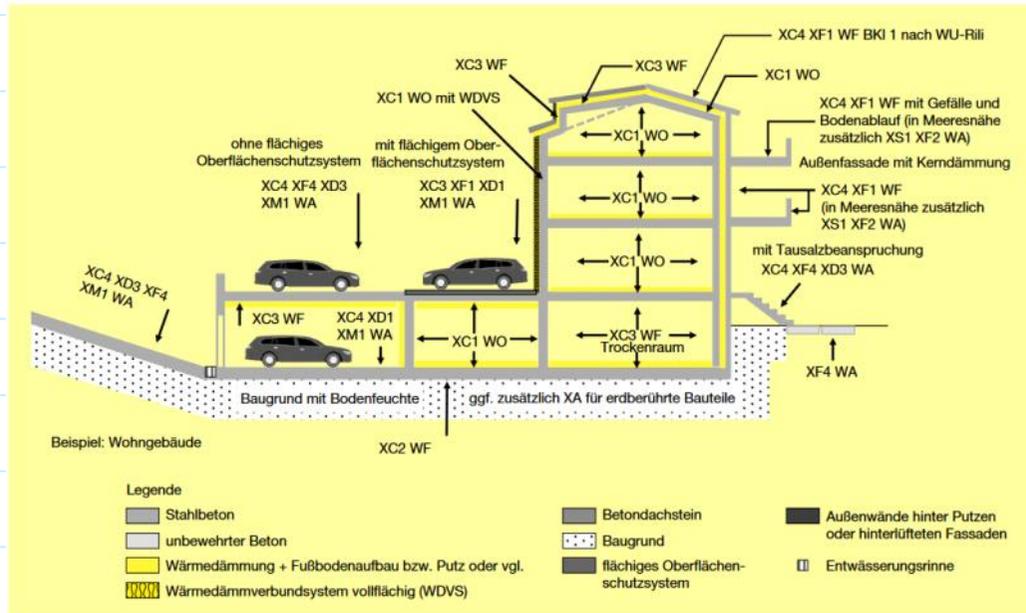


Bild 1: Beispiel für mehrere, gleichzeitig zutreffende Expositions- und Feuchtigkeitsklassen an einem Wohnhaus

Tafel 16: Betondeckung der Bewehrung für die indicative 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 XC3	$\geq C16/20$ $\geq C20/25$	bis 20	$c_{min,dur} = 20$	15	35
		25	$c_{min,b} = 25$	10 ³⁾	35
		28	$c_{min,b} = 28$	10 ³⁾	40
		32	$c_{min,b} = 32$	10 ³⁾	45
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	$c_{min,dur} + \Delta c_{dur,z}$ $= 40$	15	55
XD2, XS2	$\geq C35/45$ ⁴⁾				
XD3 ⁴⁾ , XS3	$\geq C35/45$ ⁴⁾				

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

²⁾ Bei Stabdübeln ist anstelle Φ der Vergleichsdurchmesser Φ_n maßgebend.

³⁾ Da Verbundstärkung 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.

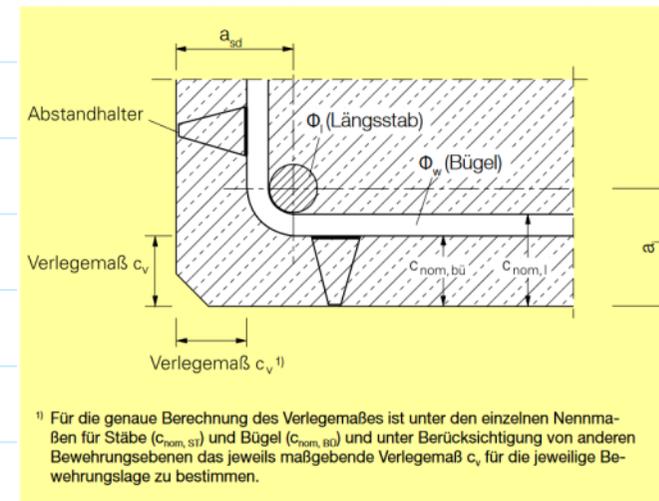


Bild 2: Grafische Darstellung von Nennmaß und Verlegemaß der Betondeckung

Stahlbeton-Vorbemessung für Rechteckquerschnitte

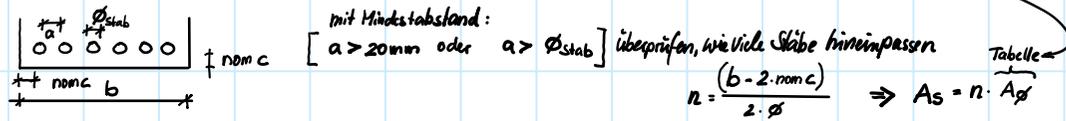
① Einwirkendes Moment : M_{sd} bestimmen = $M_g \cdot 1,35 + M_q \cdot 1,5$
Eigenmoment Verkehr & Wind Schnee
zusätzlich berücksichtigen } Sicherheitsbemierte Lastseite:
 $\gamma_G = 1,35$ $\gamma_Q = 1,5$

② Querschnitt als □ vorgeben:
 $b = \dots$ $h = \dots$
 $g_{Träger} = b \cdot h \cdot 25 \frac{kg}{m^3}$

③ Innere Hebelarm: $z = \alpha_s \cdot d = \alpha_s \cdot (h - \text{Betondeckung})$
 (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



⑤ F_{sd} berechnen: $F_{sd} = A_s \cdot f_{yd} = A_s \cdot \frac{500 N/cm^2}{1,15}$

⑥ $M_{red} = F_{sd} \cdot z$

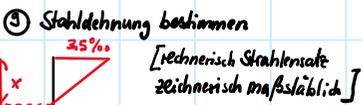
$100\% \geq \frac{M_{sd}}{M_{red}} \geq 80\% \checkmark \rightarrow \textcircled{7}$

$\frac{M_{sd}}{M_{red}} < 80\%$ unwirtschaftlich $\rightarrow \textcircled{2}$ Querschnitt verkleinern

$\frac{M_{sd}}{M_{red}} > 100\%$ unsicher $\rightarrow \textcircled{2}$ Querschnitt vergrößern

⑦ Vorgabe Betonfestigkeit f_{ck}

⑧ Behndruckzone berechnen
 $f_{cd} = 0,85 \cdot \frac{f_{ck}}{1,5}$ $F_{cd} = 0,95 \cdot f_{cd} \cdot b \cdot h_b$ mit $F_{cd} \stackrel{!}{=} F_{sd} \Rightarrow h_b = \frac{F_{sd}}{0,95 \cdot f_{cd} \cdot b}$ Höhe der Behndruckzone: $x = \frac{h_b}{0,8}$



$2,18\% \leq \epsilon_s \leq 25\% \checkmark \rightarrow \textcircled{10}$

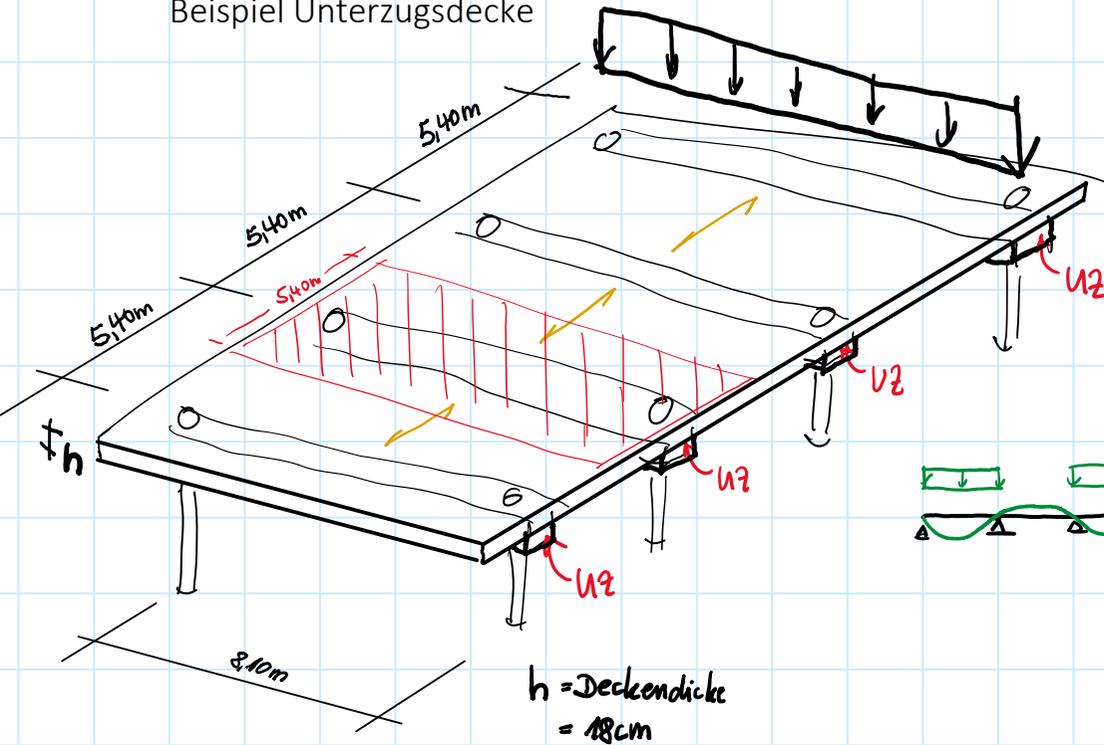
$2,18\% > \epsilon_s$ unwirtschaftlich $\rightarrow \textcircled{2}$ Querschnitt verkleinern oder $\rightarrow \textcircled{4}$ Stahl reduzieren

$\epsilon_s > 25\%$ unsicher $\rightarrow \textcircled{2}$ Querschnitt vergrößern oder $\rightarrow \textcircled{4}$ Stahl erhöhen

⑩ Innere Hebelarm:
 $z = d - \frac{1}{2} h_b$

$\left\{ \begin{array}{l} z \geq 0,95 \cdot z_{aus \textcircled{3}} \checkmark \\ z < 0,95 \cdot z_{aus \textcircled{3}} \rightarrow \textcircled{2} \text{ Querschnitt vergrößern} \end{array} \right.$

Beispiel Unterzugsdecke



Lastrweiterleitung von Durchlaufsystem Decke auf Unterzug U2:

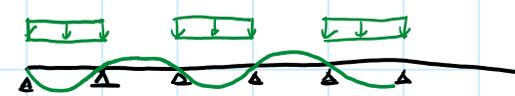
1.4 Durchlaufträger¹⁾ mit gleichmäßiger Strecklast q (Stützweite l)

1.4.1 Durchlaufträger mit gleichen Stützweiten und Gleichstreckenlast ($EI = \text{const}$)²⁾

Größtwerte der Biegemomente, Auflager- und Querkräfte

		a	b	c	d	e	f	g = const				
		1	2	3	4	5	6	q = const				
		r = g + q										
		g : r										
Felder	Kraftgrößen	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
2	M_i	0,070	0,073	0,075	0,078	0,080	0,083	0,085	0,088	0,090	0,093	0,096
	M_b	-0,125	-0,125	-0,125	-0,125	-0,125	-0,125	-0,125	-0,125	-0,125	-0,125	-0,125
	Q_{i1}	1,250	1,250	1,250	1,250	1,250	1,250	1,250	1,250	1,250	1,250	1,250
3	M_i	0,080	0,082	0,084	0,086	0,088	0,090	0,092	0,095	0,097	0,099	0,101
	M_b	0,025	0,030	0,035	0,040	0,045	0,050	0,055	0,060	0,065	0,070	0,075
	Q_{i1}	0,400	0,405	0,410	0,415	0,420	0,426	0,429	0,435	0,441	0,444	0,450
		1,099	1,110	1,117	1,132	1,141	1,151	1,159	1,172	1,181	1,188	1,202
		-0,599	-0,602	-0,602	-0,606	-0,606	-0,610	-0,610	-0,613	-0,613	-0,613	-0,617
		0,500	0,508	0,515	0,526	0,535	0,541	0,549	0,559	0,568	0,575	0,585

Momente = Tafelwert $\cdot r l^2$
Kräfte = Tafelwert $\cdot r l$



Belastung [Flächenlast KN/m^2]

$\Delta g = 1,5 \text{ KN/m}^2$ (Ausbaulast)

$q = 3,5 \text{ KN/m}^2$ (Verkehrslast)

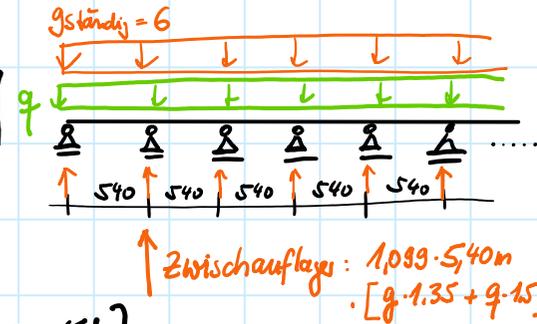
$g = \gamma_c \cdot h = 25 \frac{\text{KN}}{\text{m}^3} \cdot 0,18 \text{ m} = 4,5 \frac{\text{KN}}{\text{m}^2}$

Wichte

Veränderlich $3,5 \frac{\text{KN}}{\text{m}^2}$
 $\gamma_a = 1,50$

Ständig $1,5 + 4,5 = 6 \text{ KN/m}^2$
($\gamma_s = 1,35$)
Teilsicherheit ständig

Statisches System [Decke]

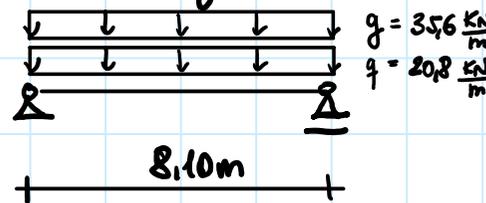


$G_{U2} = 1,099 \cdot 5,4 \text{ m} \cdot 6,0 \text{ KN/m}^2 = 356 \frac{\text{KN}}{\text{m}}$

$Q_{U2} = 1,099 \cdot 5,4 \text{ m} \cdot 3,5 \text{ KN/m}^2 = 20,8 \frac{\text{KN}}{\text{m}}$

charakteristisch

Statisches System [Uz]



$\max M_d = \frac{L^2}{8} (g \cdot 1,35 + q \cdot 1,5)$

$= \frac{8,1^2}{8} (35,6 \cdot 1,35 + 20,8 \cdot 1,5)$

$= 650 \text{ KNm}$

Stahlbeton-Vorbemessung für Rechteckquerschnitte

① Einwirkendes Moment : M_{sd} bestimmen = $M_g \cdot 1,35 + M_q \cdot 1,5$
Eigenmoment Verkehr/Wind/Schnee

Sicherheitsbemierte Lastseite:
 $\gamma_G = 1,35$ $\gamma_Q = 1,5$

② Querschnitt als \square vorgeben:
 $b = 60 \text{ cm}$ $h = 100 \text{ cm}$ $g_{Träger} = b \cdot h \cdot 25 \frac{\text{KN}}{\text{m}^3}$



Zusätzliches Gewicht:
 $0,6 \text{ m} \cdot 1,0 \text{ m} \cdot 25 \frac{\text{KN}}{\text{m}^3} = 15 \frac{\text{KN}}{\text{m}}$
 $\Rightarrow \Delta M_d = \frac{15 \text{ KN/m} \cdot 1,35 \cdot (8,1 \text{ m})^2}{8} = 166 \text{ KNm}$

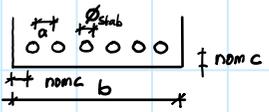
$M_{sd} = 650 + 166 = 816 \text{ KNm}$

③ Innerer Hebelarm: $z = \alpha_s \cdot d = \alpha_s \cdot (h - \text{Betondeckung})$
 (Betondeckung wird vorgegeben) $z = 0,8 \cdot (h - \text{Betondeckung}) = 0,8 \cdot (100 - 25) = 75 \text{ mm}$
Annahme sichere Seite

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

gewählt $\phi 28$



mit Mindestabstand: $[a > 20 \text{ mm oder } a > \phi_{\text{Stab}}]$ überprüfen, wie viele Stäbe hineinpassen

$n = \frac{(b - 2 \cdot \text{nom } c)}{2 \cdot \phi} \Rightarrow A_s = n \cdot A_{\phi}$

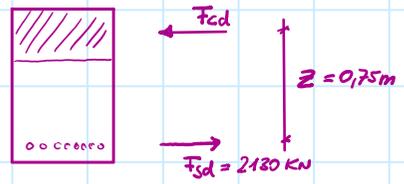
⑤ F_{sd} berechnen: $F_{sd} = A_s \cdot f_{yd} = A_s \cdot \frac{50 \text{ KN/cm}^2}{1,15} = 49 \text{ cm}^2 \cdot \frac{50 \text{ KN/cm}^2}{1,15} = 2130 \text{ KN}$

⑥ $M_{red} = F_{sd} \cdot z = 2130 \text{ KN} \cdot 0,75 \text{ m} = 1597 \text{ KNm}$

$100\% \geq \frac{M_{sd}}{M_{red}} \geq 80\% \checkmark \rightarrow ⑦$

$\frac{M_{sd}}{M_{red}} < 80\%$ unwirtschaftlich \rightarrow ② Querschnitt verkleinern $\frac{M_{sd}}{M_{red}} = \frac{816}{1597} = 0,51 \approx 51\% \Rightarrow$ neue Abmessungen wählen!

$\frac{M_{sd}}{M_{red}} > 100\%$ unsicher \rightarrow ② Querschnitt vergrößern

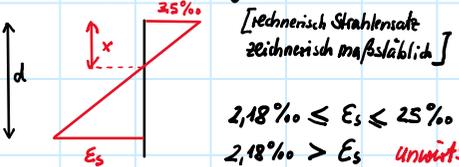


⑦ Vorgabe Betonfestigkeit f_{ck}

⑧ Betondruckzone berechnen

$f_{cd} = 0,85 \cdot \frac{f_{ck}}{1,5}$ $F_{cd} = 0,95 \cdot f_{cd} \cdot b \cdot h_b$ mit $F_{cd} \stackrel{!}{=} F_{sd} \Rightarrow h_b = \frac{F_{sd}}{0,95 \cdot f_{cd} \cdot b}$ Höhe der Betondruckzone: $x = \frac{h_b}{0,8}$

⑨ Stahldehnung bestimmen



$2,18\% \leq \epsilon_s \leq 25\% \checkmark \rightarrow ⑩$

$2,18\% > \epsilon_s$ unwirtschaftlich \rightarrow ② Querschnitt verkleinern oder \rightarrow ④ Stahl reduzieren
 $\epsilon_s > 25\%$ unsicher \rightarrow ② Querschnitt vergrößern oder \rightarrow ④ Stahl erhöhen

⑩ Innerer Hebelarm:

$z = d - \frac{1}{2} h_b$ $\begin{cases} z \geq 0,95 \cdot z_{aus} ③ \checkmark \\ z < 0,95 \cdot z_{aus} ③ \rightarrow ② \text{ Querschnitt vergrößern} \end{cases}$

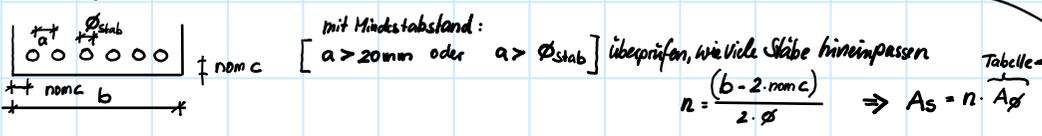
Stahlbeton-Vorbemessung für Rechteckquerschnitte

- ① Einwirkendes Moment : M_{sd} bestimmen = $M_g \cdot 1,35 + M_q \cdot 1,5$
Eigenmoment Verkehr Wind Schnee
zusätzlich berücksichtigen
- Sichheitsbzwerte Lastseite:
 $\gamma_G = 1,35$ $\gamma_Q = 1,5$
 $\Delta M_{sd} = 9 \cdot 1,35 \cdot 8,1^2 \approx 100 \text{ kNm}$
 $M_{sd} = 650 + 100 = 750 \text{ kNm}$
- ② Querschnitt als \square vorgeben:
 $b = 60$ $h = 60$
 $g_{Träger} = b \cdot h \cdot 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} = 0,6 \cdot 0,6 \cdot 25 = 9 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

③ Innerer Hebelarm: $z = \alpha_s \cdot d = \alpha_s \cdot (h - \text{Betondeckung}) = 0,8(0,6\text{m} - 0,06\text{m}) = 0,43\text{m}$
(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



$\phi 28$
 $n = 8$
 $A_s = 49 \text{ cm}^2$

⑤ F_{sd} berechnen: $F_{sd} = A_s \cdot f_{yd} = A_s \cdot \frac{50 \text{ N/mm}^2}{1,15} = 2130 \text{ kN}$

⑥ $M_{rd} = F_{sd} \cdot z = 2130 \text{ kN} \cdot 0,43 \text{ m} = 916 \text{ kNm}$

$100\% \geq \frac{M_{sd}}{M_{rd}} \geq 80\% \checkmark \rightarrow$ ⑦ $\frac{M_{sd}}{M_{rd}} = \frac{750}{916} \hat{=} 82\% \checkmark$

$\frac{M_{sd}}{M_{rd}} < 80\%$ unwirtschaftlich \rightarrow ② Querschnitt verkleinern

$\frac{M_{sd}}{M_{rd}} > 100\%$ unsicher \rightarrow ② Querschnitt vergrößern

⑦ Vorgabe Betonfestigkeit f_{ck} gewählt C30/37 : $f_{ck} = 30 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 30 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$
 f_{ck} $f_{c,cube}$

⑧ Betondeckzone berechnen
 $f_{cd} = 0,85 \cdot \frac{f_{ck}}{1,5} = 0,85 \cdot \frac{30}{1,5} = 1,7 \text{ kN/cm}^2$
 $F_{cd} = 0,95 \cdot f_{cd} \cdot b \cdot h_b$ mit $F_{cd} \stackrel{!}{=} F_{sd} \Rightarrow h_b = \frac{F_{sd}}{0,95 \cdot f_{cd} \cdot b}$ Höhe der Betondeckzone: $x = \frac{h_b}{0,8}$



⑨ Stahldehnung bestimmen
[technisch Stahldehnung zeichnerisch maßstäblich]

$2,18\% \leq \epsilon_s \leq 25\% \checkmark \rightarrow$ ⑩

$2,18\% > \epsilon_s$ unwirtschaftlich \rightarrow ② Querschnitt verkleinern oder \rightarrow ④ Stahl reduzieren

$\epsilon_s > 25\%$ unsicher \rightarrow ② Querschnitt vergrößern oder \rightarrow ④ Stahl erhöhen

⑩ Innerer Hebelarm:
 $z = d - \frac{1}{2} h_b$

$\begin{cases} z \geq 0,95 \cdot z_{aus} \text{ ③ } \checkmark \\ z < 0,95 \cdot z_{aus} \text{ ③ } \rightarrow \text{ ② Querschnitt vergrößern } \end{cases}$