

Gebrauchstauglichkeit

N. Egger

3. August 2018

Inhaltsverzeichnis

1 Risse	2
1.1 Zugelement	2
1.2 Querschnittsanalysen, reine Biegung	3
1.2.1 Rechteckquerschnitt ohne Druckbewehrung	3
1.2.2 Rechteckquerschnitt mit Druckbewehrung	3
1.2.3 Plattenbalkenquerschnitt	3
1.3 Biegung mit Normalkraft	4
1.3.1 Druck, kleine Exzentrizität	4
1.3.2 Zug mit kleiner Ausmitte	4
1.3.3 Druck und Zug, grosse Exzentrizität	4
2 Schwingungen	5
2.1 Eigenfrequenz	5
3 Dichtheit	6
3.1 Weisse Wanne	6
4 Verformungen	7
4.1 Verformung am Zugstab	7
4.2 Berechnung von Verformung	7

1 Risse

Ursachen:

- zu rasches Austrocknen
- Temperatureinwirkungen
- Schwinden
- Lasteinwirkung
- Aufgezwungene oder behinderte Verformung
- Frosteinwirkung

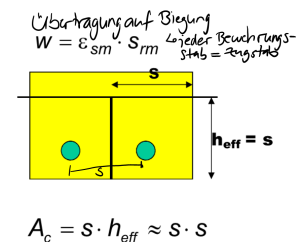
Anforderungen

- Normale Anforderungen: bei Erreichen von f_{ctd} : $\sigma_s \leq f_{sd} \rightarrow$ sprödes Versagen verhindern (Mindestbewehrung) & aufgezwungene und behindernde Verformungen begrenzen

1.1 Zugelement

Bemerkung	Formel	Einheit
Bewehrungsquerschnitt	$A_s = n_s \cdot \pi \cdot \frac{\varnothing^2}{4}$	[mm]
Bewehrungsgehalt	$\rho = \frac{A_s}{A}$	
Betonquerschnitt	$A_c = A - A_s = A \cdot (1 - \rho)$	[mm]
Querschnittsbeiwert	$n = \alpha = \frac{E_s}{E_c}$	
Ideellerquerschnitt	$A_i = (A - A_s) + n \cdot A_s = A_c + n \cdot A_s = A \cdot (1 + \rho \cdot (n - 1))$	[mm]
Rissbreite	$w = \int (\epsilon_s - \epsilon_c) dx \approx \frac{\varnothing}{8 \cdot \rho} \frac{f_{ct}}{E_s}$	[mm]
\rightarrow mit $\rho = \frac{f_{ct}}{\sigma_s^{II}}$	$w = \frac{\varnothing}{8} \frac{\sigma_s^{II,2}}{f_{ct} \cdot E_s}$ $\Rightarrow \sigma_s = \sqrt{\frac{8 \cdot f_{ct} \cdot E_s \cdot w}{\varnothing}}$	[mm] [$\frac{kN}{mm^2}$]
Rissabstand	$1l_b \leq S_r \leq 2l_b$	[mm]
Risslast	$N_r = f_{ct} \cdot A_i$	[kN]
\rightarrow erf. $A_{s,min}$		

- Erhöhte Anforderungen (gute Rissverteilung): $\sigma_s \leq f_{sd} \rightarrow$ Mindestbewehrung & $\sigma_s \leq f_{sd} - 80N/mm^2 \rightarrow$ Fließen der Bewehrung häufiger Lastfälle verhindern & $\sigma_s \leq \sigma_{s,adm} \rightarrow$ um Rissbreiten ($w_{nom} = 0.5$ mm) aufgezwingener und behinderter Verformungen oder qs Lasten begrenzen
- Hohe Anforderungen (Rissbreitenbegrenzung für ständige & qs Lastfälle): $\sigma_s \leq f_{sd} \rightarrow$ Mindestbewehrung & $\sigma_s \leq f_{sd} - 80N/mm^2 \rightarrow$ Fließen der Bewehrung häufiger Lastfälle verhindern & $\sigma_s \leq \sigma_{s,adm} \rightarrow$ um Rissbreiten ($w_{nom} = 0.2$ mm) aufgezwingener und behinderter Verformungen oder qs Lasten begrenzen



\rightarrow je höher f_{ck} (f_{ct}), desto höher $A_{s,min}$ ($A_{s,Riss}$)

Rissbildung an der schwächsten Stelle

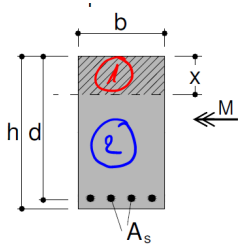
\rightarrow mehr Bewehrung
 \Rightarrow kleiner l_b , kleiner w , mehr kleine Risse pro Meter

grosse \varnothing weniger effektiv \rightarrow gr. Rissbreite

1.2 Querschnittsanalysen, reine Biegung

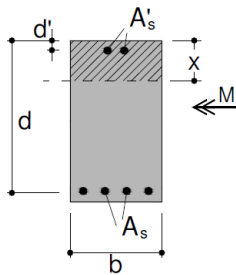
1.2.1 Rechteckquerschnitt ohne Druckbewehrung

Bemerkung	Formel	Einheit	Bemerkung
Spannungsberechnung	$E_{cm\infty} = \frac{E_{cm,0}}{1+\varphi}$ und $n = \frac{E_s}{E_{cm\infty}}$	$\left[\frac{kN}{mm^2}\right]$	Spannungsberechnung
Statisches Moment	$S_i = 0 = b \cdot x \cdot \frac{x}{2} - (d-x) \cdot n \cdot A_s$	$[mm^3]$	Statisches Moment
S_i der ideellen Fläche muss bez. der neutralen Achse Null sein			S_i der ideellen Fläche muss bez. der neutralen Achse Null sein
Druckzonenhöhe	$x = \frac{A_s}{b} \left(\sqrt{1 + \frac{2bd}{nA_s}} - 1 \right)$	$[mm]$	Druckzonenhöhe
→ aus Bedingung $S_i=0$			→ aus Bedingung $S_i=0$
Flächenmoment	$I_{Rechteck,i} = \frac{b \cdot x^3}{3} + n A_s (d-x)^2$	$[mm^4]$	Flächenmoment
Verträglichkeitsbedingung	$\frac{\varepsilon_s}{\varepsilon_c} = \frac{d-x}{x} \Rightarrow \varepsilon_s = \frac{d-x}{x} \varepsilon_c$ $E_s \cdot \varepsilon_s = \sigma_s = E_s \cdot \varepsilon_c \frac{d-x}{x}$	$\left[\frac{kN}{mm^2}\right]$	Verträglichkeitsbedingung
Stahlspannung	$\sigma_s = n \frac{M}{I_i} (d-x)$ $\sigma_s = \frac{M}{0.9 \cdot d \cdot A_s}$	$\left[\frac{kN}{mm^2}\right]$	Stahlspannung



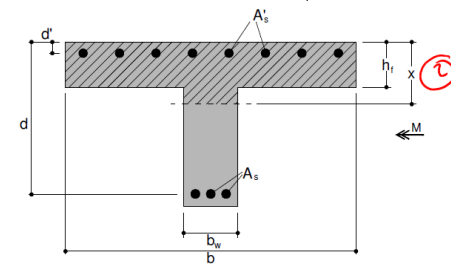
1.2.2 Rechteckquerschnitt mit Druckbewehrung

Bemerkung	Formel
Spannungsberechnung	$E_{cm\infty} = \frac{E_{cm,0}}{1+\varphi}$ und $n = \frac{E_s}{E_{cm\infty}}$
Statisches Moment	$S_i = 0 = b \cdot x \cdot \frac{x}{2} + n \cdot A'_s (x-d') - (d-x) \cdot n \cdot A_s$
S_i der ideellen Fläche muss bez. der neutralen Achse Null sein	
Druckzonenhöhe	$x = \frac{A_s + A'_s}{b} \left(\sqrt{1 + \frac{2bd}{n} \frac{A_s + A'_s \frac{d'}{d}}{(A_s + A'_s)^2}} - 1 \right)$
→ aus Bedingung $S_i=0$	
Flächenmoment	$I_{Rechteck,i} = \frac{b \cdot x^3}{3} + n \cdot A'_s (x-d')^2 + n \cdot A_s (d-x)^2$
Verträglichkeitsbedingung	$\frac{\varepsilon_s}{\varepsilon_c} = \frac{d-x}{x} \Rightarrow \varepsilon_s = \frac{d-x}{x} \varepsilon_c$ $E_s \cdot \varepsilon_s = \sigma_s = E_s \cdot \varepsilon_c \frac{d-x}{x}$
Stahlspannung	$\sigma_s = n \frac{M}{I_i} (d-x)$

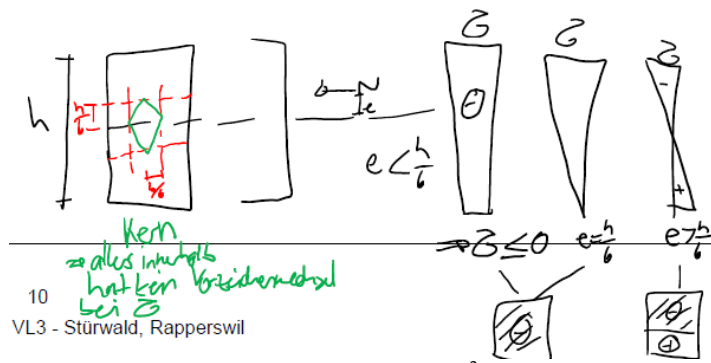


1.2.3 Plattenbalkenquerschnitt

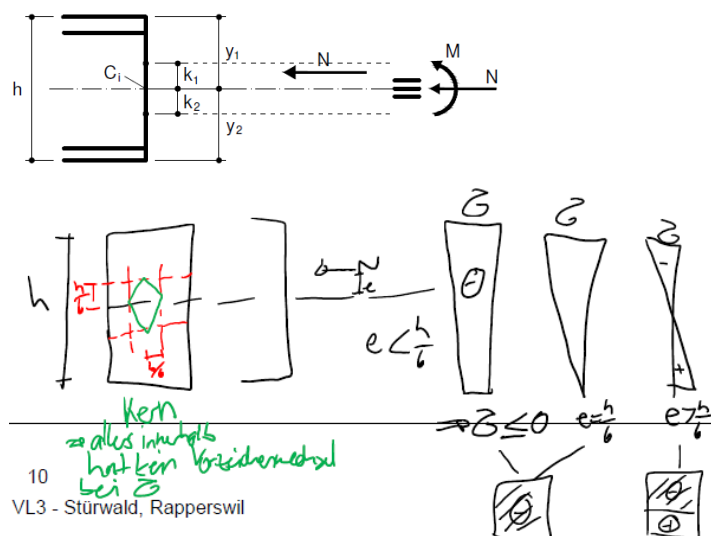
Bemerkung	Formel
abklären ob $x \leq h_f$ oder $x > h_f$	
1 $S_i (x = h_f) > 0 \rightarrow$ Berechnen am Rechteck QS	$S_i(x = h_f) = b \cdot \frac{h_f^2}{2} + n \cdot A'_s (h_f - d') - n \cdot A_s (d - h_f)$
2 $S_i (x = h_f) < 0 \rightarrow$ Berechnen am Plattenbalken QS (Druck bis in Steg)	
Statisches Moment	$S_i = 0 = (b - b_w) h_f \left(x - \frac{h_f}{2} \right) + \frac{b_w \cdot x^2}{2} + n \cdot A'_s (x - d') - n \cdot A_s (d - x) \rightarrow x$
Flächenmoment	$I_i = (b - b_w) \frac{h_f^3}{12} + (b - b_w) h_f \left(x - \frac{h_f}{2} \right)^2 + \frac{b_w \cdot x^3}{3} + n \cdot A'_s (x - d')^2 + n \cdot A_s (d - x)^2$
Verträglichkeitsbedingung	$\frac{\varepsilon_s}{\varepsilon_c} = \frac{d-x}{x} \Rightarrow \varepsilon_s = \frac{d-x}{x} \varepsilon_c$ $E_s \cdot \varepsilon_s = \sigma_s = E_s \cdot \varepsilon_c \frac{d-x}{x} = n \cdot \sigma_c \frac{d-x}{x}$
Stahlspannung	$\sigma_s = n \frac{M}{I_i} (d-x)$



1.3 Biegung mit Normalkraft



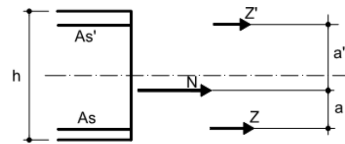
1.3.1 Druck, kleine Exzentrizität



Greift N im Kern an, kann die Ausmitte vernachlässigt werden → zentrischer Druck

Bemerkung	Formel	Einheit
Spannung	$\sigma_c = \varepsilon_c \cdot E_c = \frac{N}{A_i} \pm \frac{M}{I_i} y$ $\sigma_s = \varepsilon_s \cdot E_s = n \cdot \sigma_c$	$\left[\frac{kN}{mm^2} \right]$ $\left[\frac{kN}{mm^2} \right]$
Steifigkeit	$EI = E_{cm} \cdot I_i = EI^I$	

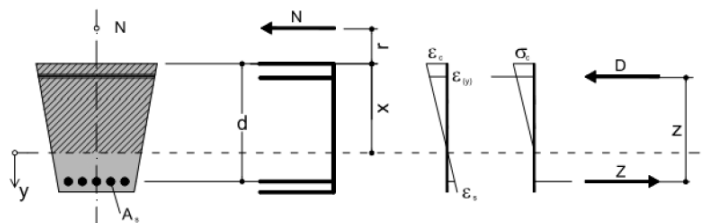
1.3.2 Zug mit kleiner Ausmitte



falls N innerhalb Bewehrungslagen → Steifigkeit allein durch Stahl bestimmt

Bemerkung	Formel	Einheit
Steifigkeit	$EI = E_s \cdot I_s = EI^{II}$	
Spannung	$\sigma_s = \frac{N}{A_s} \frac{a'}{a+a'}$ $\sigma'_s = \frac{N}{A'_s} \frac{a'}{a+a'}$	$\left[\frac{kN}{mm^2} \right]$ $\left[\frac{kN}{mm^2} \right]$

1.3.3 Druck und Zug, grosse Exzentrizität



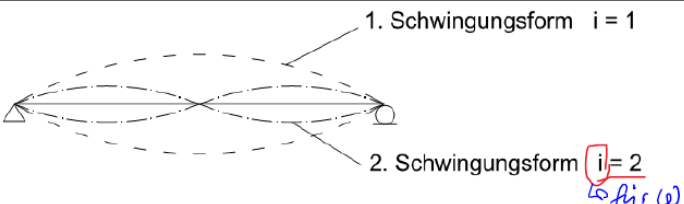
Greift N nicht im Kern an, kann die Ausmitte nicht vernachlässigt werden → $e > k$

Bemerkung	Formel	Einheit
Lage der Nullachse	$r + x = \frac{I_i}{S_i}$ → Gleich nach x auflösen, so dass $S_i = 0$ $r + x = \frac{\frac{b \cdot x^3}{3} + n \cdot A_s (d-x)^2}{\frac{b \cdot x^2}{2} - n \cdot A_s (d-x)}$	[mm] [mm]
Spannung	$\sigma_c = \varepsilon_c \cdot E_c = \frac{N(r+x)}{I_i} \cdot x$ $\sigma_s = \varepsilon_s \cdot E_s = n \cdot \frac{N(r+x)}{I_i} \cdot (d-x)$	$\left[\frac{kN}{mm^2} \right]$ $\left[\frac{kN}{mm^2} \right]$
Steifigkeit	$EI = E_{cm} \cdot I_i = EI^{II}$	




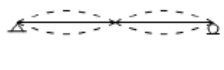
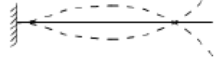
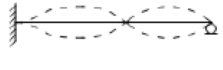
2 Schwingungen

2.1 Eigenfrequenz

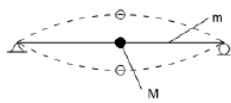
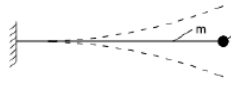
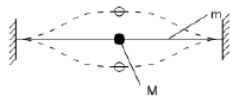
Balken mit konstanter Biegesteifigkeit

$f = \frac{\omega}{2\pi}$	[Hz][$\frac{1}{s}$]	Frequenz
$\omega = \frac{i^2 \pi^2}{l^2} \sqrt{\frac{EI}{m}}$	[$\frac{rad}{sec}$]	Kreisfrequenz
i = Schwingungsform EI = K = Federsteifigkeit m = Masse pro Längeneinheit $m = \frac{g[kN/m']}{9.61[m/s^2]}$		
		

Balken mit gleichmässig verteilter Masse

$\omega = \frac{A}{l^2} \sqrt{\frac{EI}{m}}$	[$\frac{rad}{sec}$]	Kreisfrequenz
		$A = i^2 \cdot \pi^2$
1. Schwingungsform		
		
A = 9.87	A = 3.52	A = 15.4
2. Schwingungsform		
		
A = 39.9	A = 22.7	A = 50.0

Balken mit verteilter Masse und konzentrierter Einzelmasse

Fall a) 	Fall b) 	Fall c) 
$\omega = \sqrt{\frac{48 \cdot EI}{l^3 \cdot (M + 0.5 \cdot m \cdot l)}}$	$\omega = \sqrt{\frac{3 \cdot EI}{l^3 \cdot (M + 0.23 \cdot m \cdot l)}}$	$\omega = \sqrt{\frac{196 \cdot EI}{l^3 \cdot (M + 0.375 \cdot m \cdot l)}}$

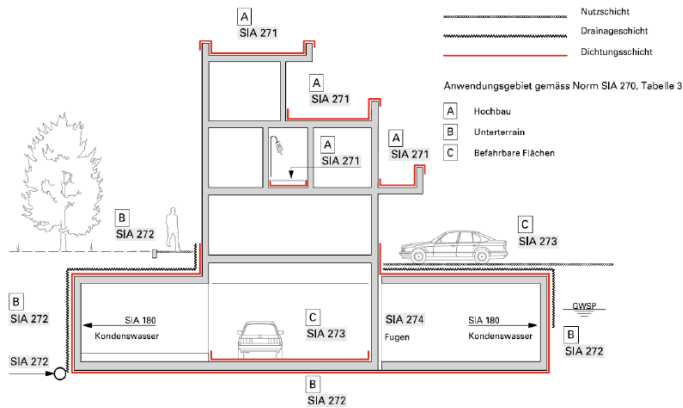


- je länger, desto kleinere Frequenz
- je weicher, desto kleiner Frequenz

- + Eigenfrequenz, je mehr Freiheitsgrade der Auflager blockiert
- Systemlänge geht quadratisch ein → Verkürzung des Systems = höhere Eigenfrequenz
- Biegesteifigkeit geht als Wurzel ein → höhere Biegesteifigkeit EI = nur kleine Erhöhung der Eigenfrequenz

SIA 260, Anhang A Tab. 5 & C Tab. 10

3 Dichttheit



TUNNELBAU

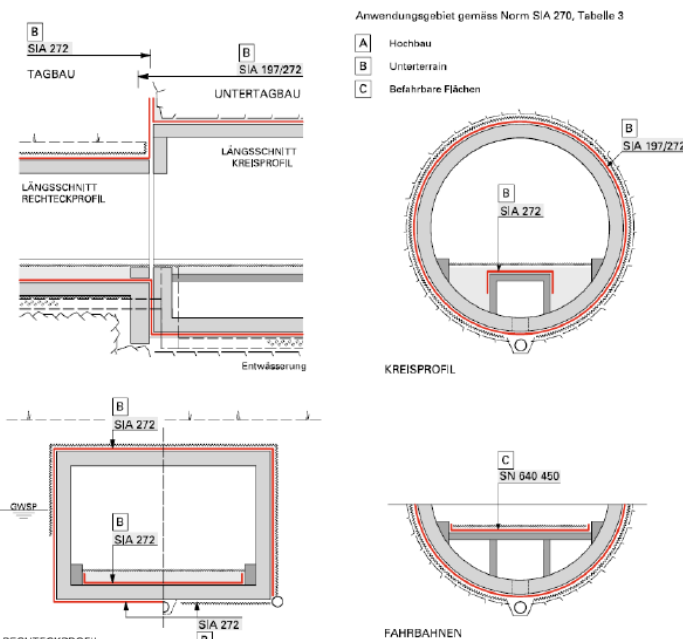


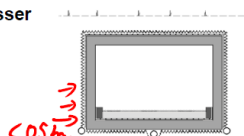
Tabelle 4 Dichtkeitsklassen

Dichtkeitsklasse	Beschrieb
1	Vollständig trocken Keine Feuchtstellen an den trockenseitigen Bauwerksflächen zugelassen.
2	Trocken bis leicht feucht Einzelne Feuchtstellen zugelassen. Kein tropfendes Wasser an den trockenseitigen Bauwerksflächen zugelassen.
3	Feucht Örtlich begrenzte Feuchtstellen und einzelne Tropfstellen an den trockenseitigen Bauwerksflächen zugelassen.
4	Feucht bis nass Feucht- und Tropfstellen zugelassen.

Abdichtungskonzepte

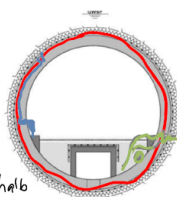
Ableitungskonzept gegen nicht drückendes Wasser

- Wasserdruck tem. < 0.5 bar
- Massnahmen gegen Wasserdruck
 - Hohlräume, Kontrollen, Unterhaltungsplan
- Ableitungs- und Entwässerungskonzept



Verdrängungskonzept gegen drückendes Wasser

- Drückendes Wasser
- Konzept für ganzes Bauwerk
- Für Tunnel u.ä.
- Keine Drainage oder Entwässerung *außerhalb*
 → wenn dann innerhalb

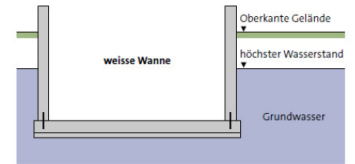


3.1 Weisse Wanne

Wasserdichte Betonkonstruktion (WDB) – weisse Wanne

Wasserdichte Betonkonstruktion

- Beton: XC2, Wassereindringwiderstand $e_w < 50$ mm, $w/z < 0.55$
- Bauteil
 - Rissbreitenbegrenzung nach SIA 272 (Risse können ab 0.1mm Wasser führen)
 - Mindestabmessungen nach SIA 272
- Gesamte Konstruktion
 - Zwängungsarme Konstruktion



Massnahmen für Fugen (Arbeits- und Bewegungsfugen) und Durchdringungen

- Fugenbänder, Fugenbleche, Injektionsschläuche, Dichtungsbänder (-> Verformung beachten)
- Manschetten

Instandsetzung bei Lecks

- Injektionen
- Aufgeklebte Fugenbänder

Wasserdichter Beton

- Beton:
 - Langsames Erhärten *→ konzentriertes Abbinden → kleinere Risse*
 - Geringe Wassereindringtiefe (Prüfung WLF)
 - $w/z < 0.55$ *→ Vorgabe = Rezeptur eintrifft*
- Einbau:
 - Keine starken Niederschläge
 - Temperatur > 5°C
 - Keine Erschütterungen des jungen Betons (z.B. Spundwände ziehen)
 - Gute Nachbehandlung



Konstruktive Anforderungen an weisse Wanne

Zur Minimierung der Rissbildung wird folgende Mindestbewehrung empfohlen:

SIA 272 *Summe der Stäbe*

$$A_{s, \min} = \frac{f_{ctd} \cdot A_{ct}}{\sigma_{s, \min}}$$

Für Dichtkeitsklasse 1 ist $\sigma_{s, \min} = 360 \frac{10}{\phi} \text{ N/mm}^2$

Für Dichtkeitsklasse 2 ist $\sigma_{s, \min} = 435 \frac{10}{\phi} \text{ N/mm}^2$

Für Dichtkeitsklasse 3 ist $\sigma_{s, \min} = 500 \frac{10}{\phi} \text{ N/mm}^2$

ϕ = gewählter Stabdurchmesser in mm

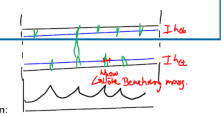
Ab einer Bauteildicke von etwa $h = 0,80$ m kann eine wirksame Bauteildicke h' gemäss folgender Tabelle eingesetzt werden.

Tabelle 6 Wirksame Bauteildicken in m bei Zugbeanspruchung

Wahre Bauteildicke	h	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50	≥ 1,60
Wirksame Bauteildicke	h'	0,80	0,87	0,94	1,00	1,04	1,08	1,12	1,16	1,20

Über 1,60 m bleibt die wirksame Bauteildicke 1,20 m, es wird davon ausgegangen, dass der Wirkungsbereich des Querschnittes maximal 0,90 m beträgt.

HSR
HOCHSCHULE FÜR TECHNIK
RAPPERSWIL
Hochschultechnik Schweiz



- Dichtkeitsklasse 1 0.1 bis 0.2 mm
- Dichtkeitsklasse 2 0.2 bis 0.4 mm
- Dichtkeitsklasse 3 0.4 bis 0.7 mm

SIA 262
behindernde Verformungen
 $\sigma_{s, \min} = \frac{\sigma_{s, \text{fctd}} \cdot A_{ct}}{A_s}$
 $\leq f_{sd}$
kleinere Werte als SIA 272 (neuer Normkonzept)

4 Verformungen

4.1 Verformung am Zugstab

Gerissen: ($N > N_r$)

Dehnung (Grenzfall im Riss): $\varepsilon^{\text{II}} = \frac{N}{A_s \cdot n \cdot E_c}$

Verformung (obere Schranke): $\Delta l = l_0 \varepsilon^{\text{II}}$

Mitwirkung zwischen den Rissen

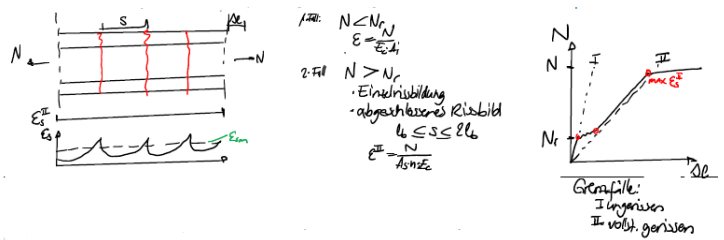
Kriechen: kein Einfluss, da keine Druckbeanspruchung im Beton

Ungerissen: ($N < N_r$)

Dehnung: $\varepsilon = \frac{N}{A_i \cdot E_c}$

Verformung: $\Delta l = l_0 \varepsilon$

Schwinden: Verformung



4.2 Berechnung von Verformung

SIA 262 4.4.3.2.4/5 (vereinfachte Durchbiegung), SIA 260 Anhang

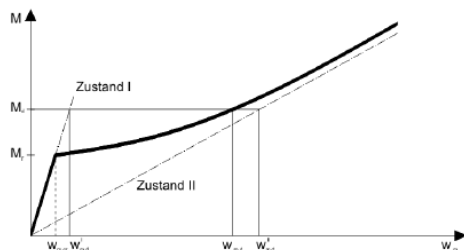


Bild 5.27 Momenten- Durchbiegungs- Diagramm Grenzzustand Funktionstüchtigkeit:

$$w_{\text{eff}}^{(\psi_{0,1} \cdot q_k)} \leq w_{\text{adm}}^{\text{Lastfall selten}} \quad \text{oder} \quad w_{\text{adm}}^{\text{Lastfall häufig}}$$

Grenzzustand Komfort:

$$w_{\text{eff}}^{(\psi_1 \cdot q_k)} \leq w_{\text{adm}}^{\text{Lastfall häufig}}$$

Grenzzustand Aussehen:

$$w_{\text{eff}}^{(\psi_2 \cdot q_k)} \leq w_{\text{adm}}^{\text{Lastfall quasi-ständig}}$$

Kriechen (Zustand 1)	$EI^I = I^I \frac{E_{cm0}}{1+\varphi}$	$\varphi \approx 2$ (SIA 262)
Schwinden (Zustand 1)		Verkürzung, Krümmung bei nicht-symmetrischem As
Randspannungen	$\sigma_{co,u} = \frac{F}{A_{ico}} \mp \frac{F \cdot y_s}{I_{ico}} y_{o,u}$	
Schwindkrümmung	$\Delta \varepsilon_o = \frac{\sigma_{co}}{E_{coo}}; \Delta \varepsilon_u = \frac{\sigma_{cu}}{E_{coo}}; \kappa_s = \frac{ \Delta \varepsilon_o + \Delta \varepsilon_u }{h}$	Durchbiegung infolge Schwinden, kann häufig vernachlässigt werden
Durchbiegung	$w = \int_0^l \frac{M}{EI} \bar{M} \cdot dx$	\bar{M} = Moment aus virtuellem Belastungszustand $\frac{M}{EI} = \kappa$ = Durchbiegung
Durchbiegung - vollständig gerissen	$w_m = \frac{F \cdot l^3}{48EI_{II}}$	extrem Fall, wenn i.O. → alles i.O.
Durchbiegung - Bereich gerissen/ungerissen	$w_m = \frac{F \cdot l^3}{48EI_{II}} (1 - \zeta^3 (1 - \frac{EI_{II}}{EI_I}))$	