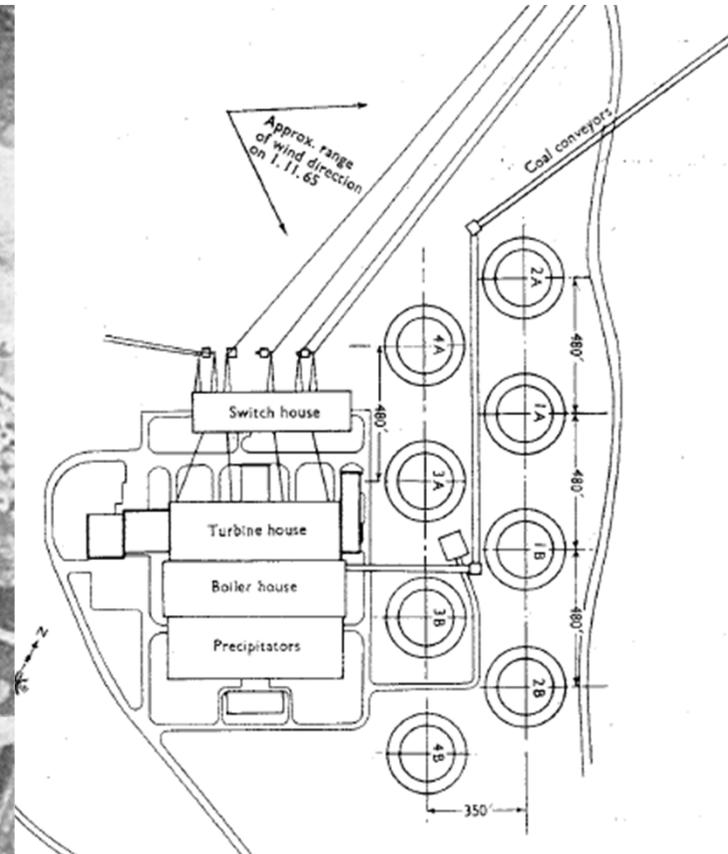
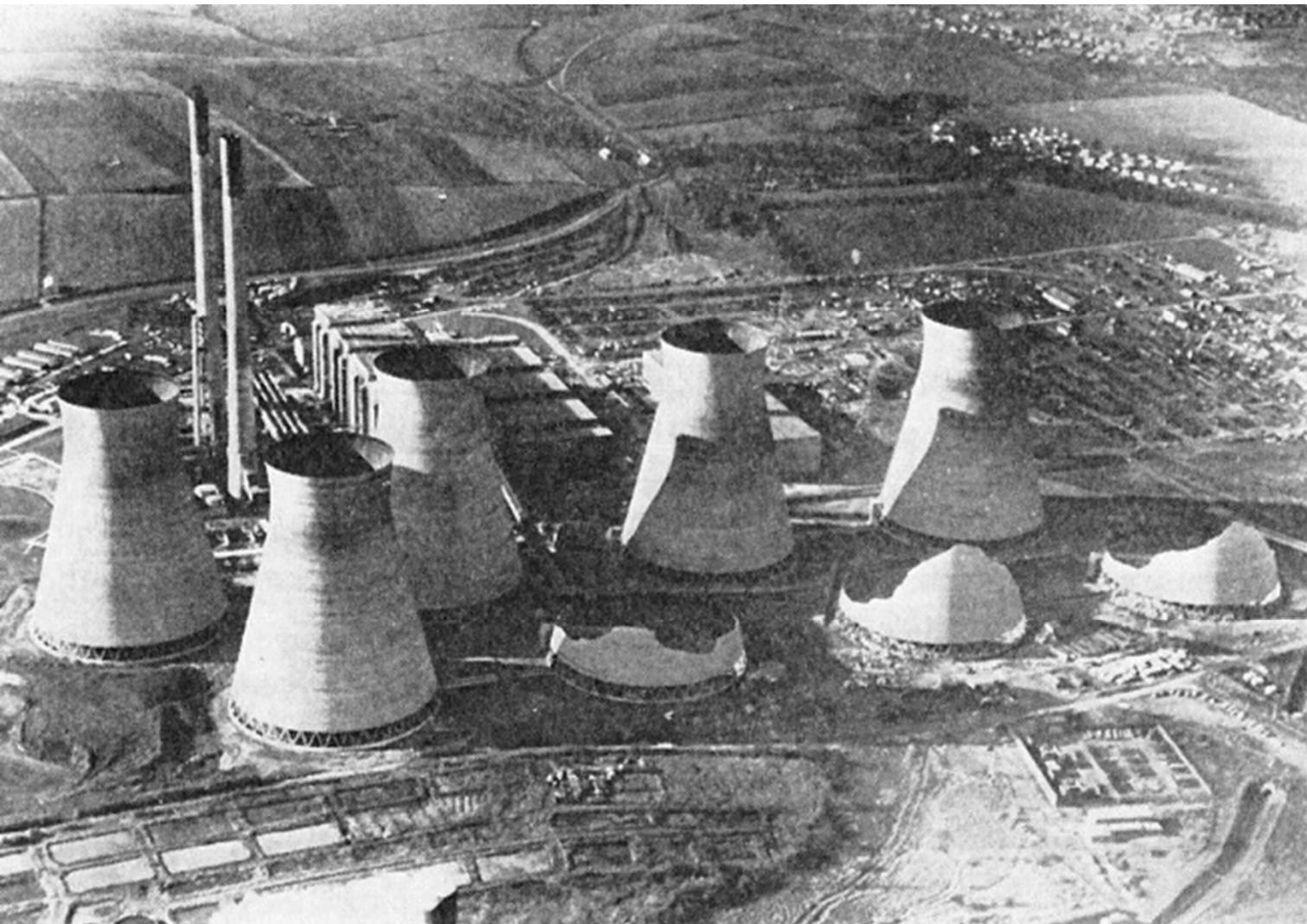


Aus Schaden wird man klug ??????

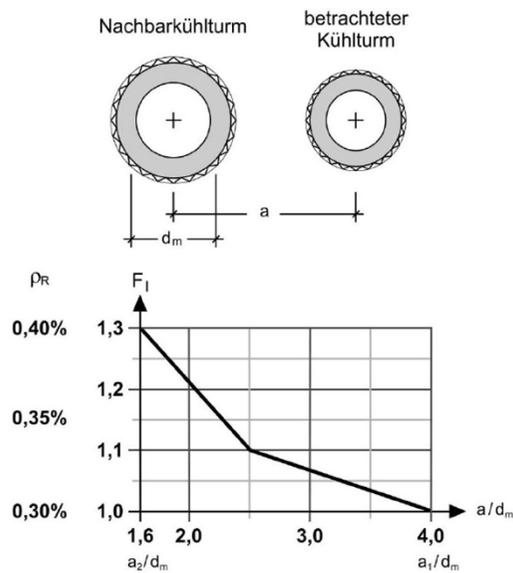
Typische Schäden und Schadensbilder im Stahlbetonbau



©Jozef Melcer, Important moments in the history of structural aerodynamics

Kollaps der Kühltürme Ferrybridge 1965

Gruppeneffekt



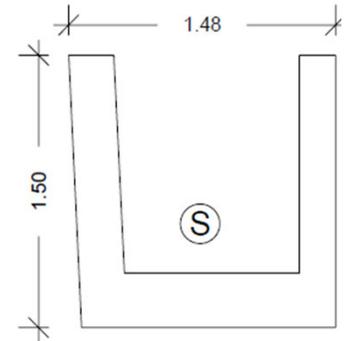
©VGB-BTR

Mindestwandstärken

Ferrybridge $h = 5 \text{ in (12 cm)}$, VGB $h \geq 18 \text{ cm}$

Doppelte Bewehrungslagen

Mindeststeifigkeit oberes
Randglied $I_z / Rh \geq 0,003 \text{ m}^3$



Sicherheitskonzept

$$E(G+W) \leq R / \gamma$$

Teilsicherheitskonzept !!

$$E(G + \gamma \cdot W) \leq R$$



EN 1992 - Eurocode 2: Stahlbeton- und Spann- beton- tragwerke	EN 1993 - Eurocode 3: Stahl- bauten	EN 1994 - Eurocode 4: Verbund- tragwerke	EN 1995 - Eurocode 5: Holzbauten	EN 1996 - Eurocode 6: Mauer- werks- bauten	EN 1999 - Eurocode 9: Aluminium- bauten
--	--	---	--	--	--

... ich verstehe das nicht. Alles mit Computer gemacht ... und da ist die Norm drin ... ob die was an der Norm geändert haben ? © K. Stiglat

Typische Schadensfälle im Stahlbetonbau aus ca. 15 Jahre Tätigkeit als öbuv Sachverständiger für Landgerichte:

Statische Falschbemessung / Standsicherheit

Zwang / Mindestbewehrung / klaffende Risse

Durchbiegungsprobleme / Verformungsunverträglichkeit

Handwerkliche Fehler

Betondeckung, Verdichtung, Nachbehandlung, Toleranzen

Falsche Lage von Bewehrung, Fugenprofilierung, etc...

Gliederung

Nachweise im GZG – Rissbildung und Durchbiegung

Schadensfälle mit Standsicherheitsproblematik

Rissbildung / Verformung / Gebrauchstauglichkeit

Rissbildung im Stahlbetonbau

Tabelle 7.1DE – Rechenwerte für w_{max} in [mm]

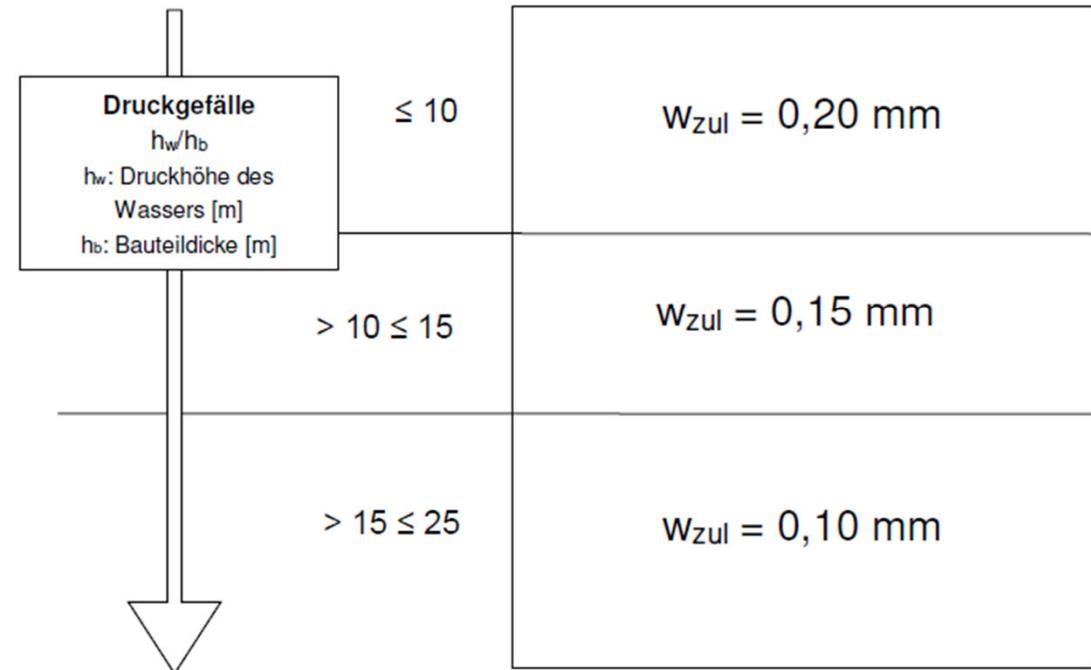
	1	2	3	4	
	Expositions- klasse	Stahlbeton und Vorspannung ohne Verbund	Vorspannung mit nachträg- lichem Verbund	Vorspannung mit sofortigem Verbund	
		mit Einwirkungskombination			
		quasi-ständig	häufig	häufig	selten
1	X0, XC1	0,4 ^{a)}	0,2	0,2	
2	XC2 – XC4	0,3	0,2 ^{b), c)}	0,2 ^{b)}	
3	XS1 – XS3 XD1, XD2, XD3 ^{d)}			Dekom- pression	0,2

^{a)} Bei den Expositionsclassen X0 und XC1 hat die Rissbreite keinen Einfluss auf die Dauerhaftigkeit und dieser Grenzwert wird i. Allg. zur Wahrung eines akzeptablen Erscheinungsbildes gesetzt. Fehlen entsprechende Anforderungen an das Erscheinungsbild, darf dieser Grenzwert erhöht werden.

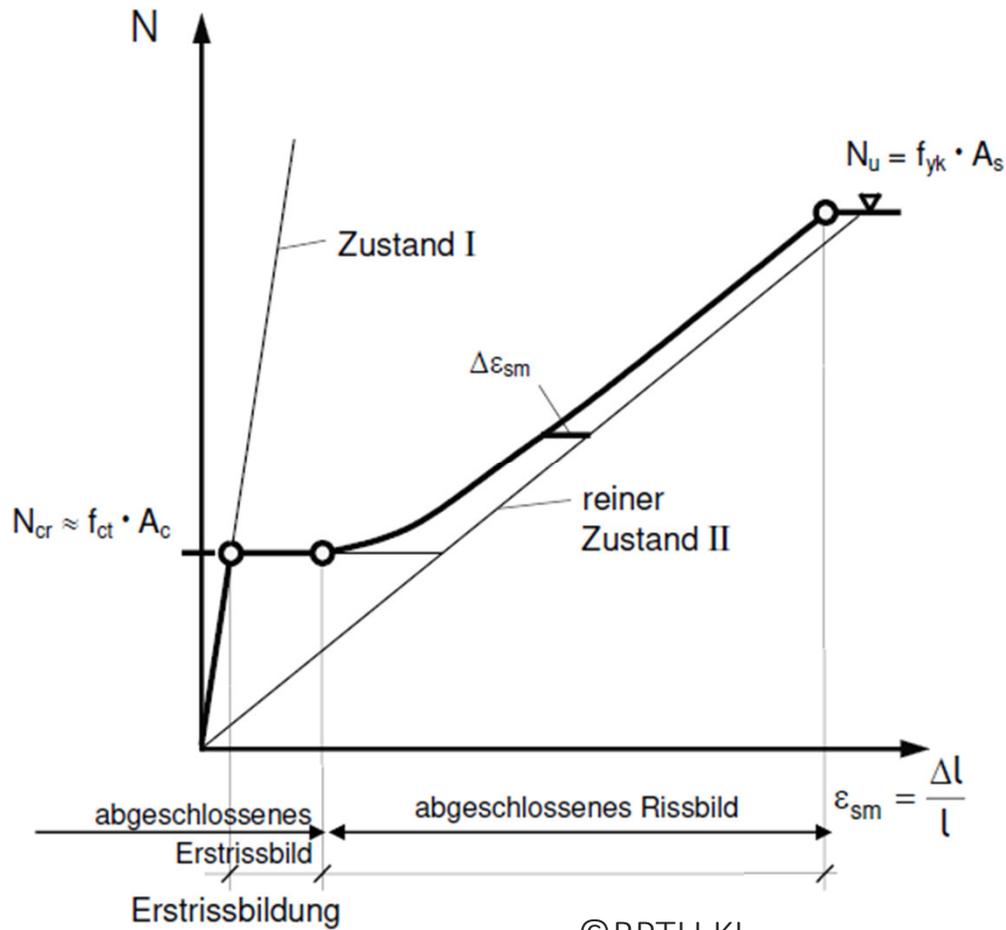
^{b)} Zusätzlich ist der Nachweis der Dekompression unter der quasi-ständigen Einwirkungskombination zu führen.

^{c)} Wenn der Korrosionsschutz anderweitig sichergestellt wird (Hinweise hierzu in den Zulassungen der Spannverfahren), darf der Dekompressionsnachweis entfallen.

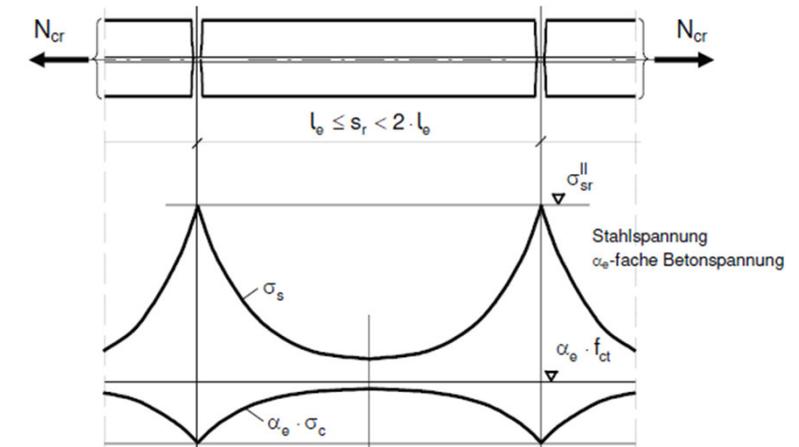
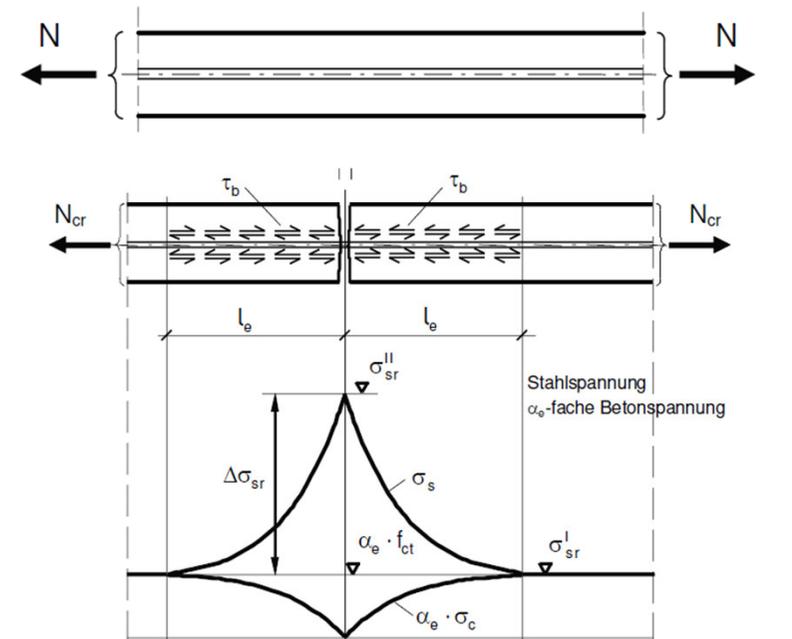
^{d)} Beachte 7.3.1 (7).



Rissbildung im Stahlbetonbau

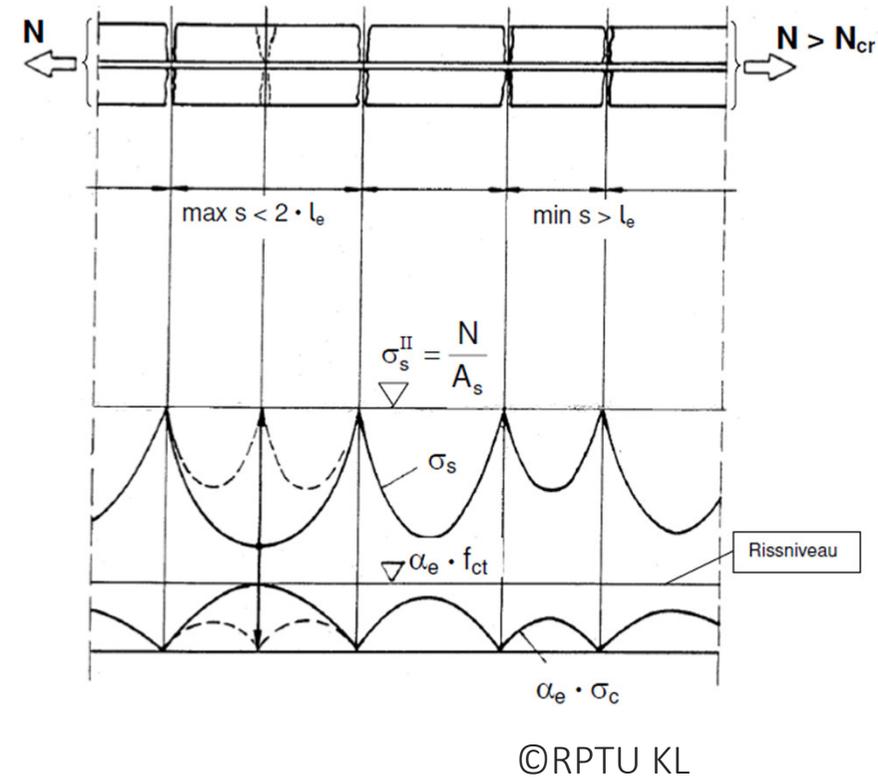
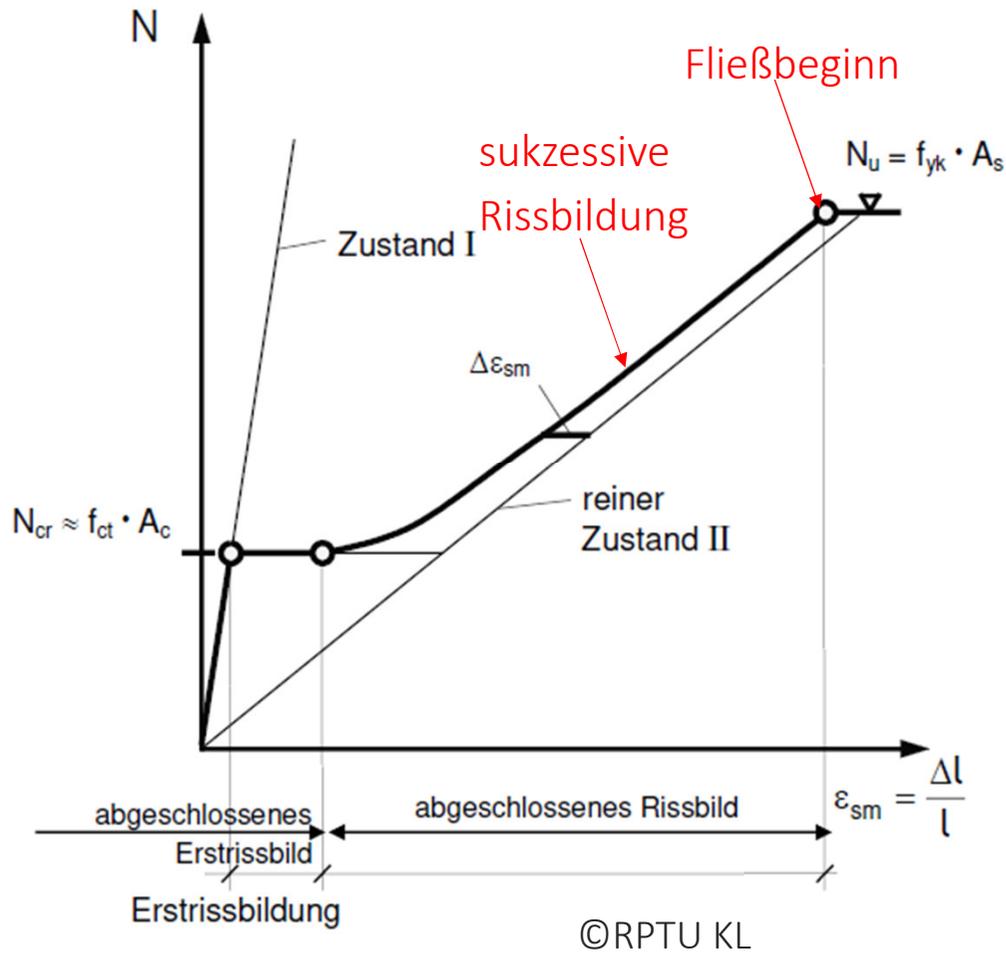


©RPTU KL

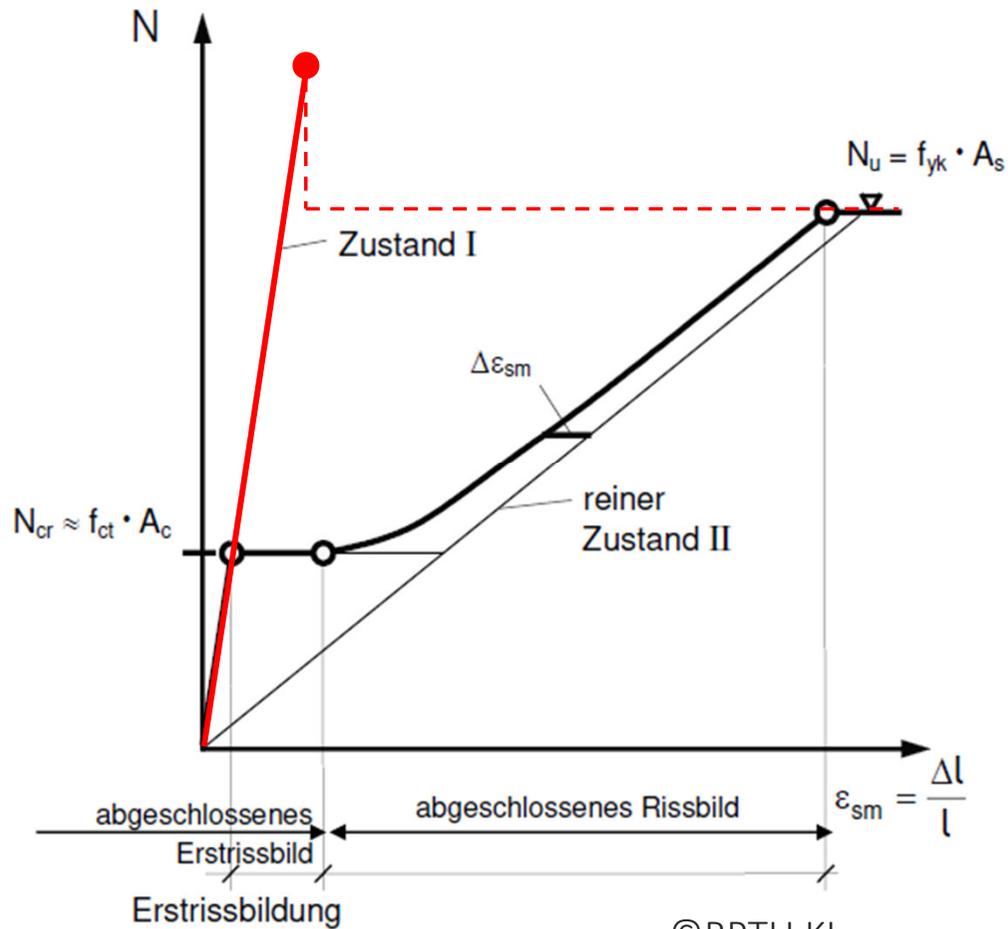


©RPTU KL

Rissbildung im Stahlbetonbau



Fehlende Duktilitätsbewehrung



©RPTU KL

9.2 Balken

9.2.1 Längsbewehrung

9.2.1.1 Mindestbewehrung und Höchstbewehrung

(1) Die Mindestquerschnittsfläche der Längszugbewehrung muss in der Regel $A_{s,min}$ entsprechen.

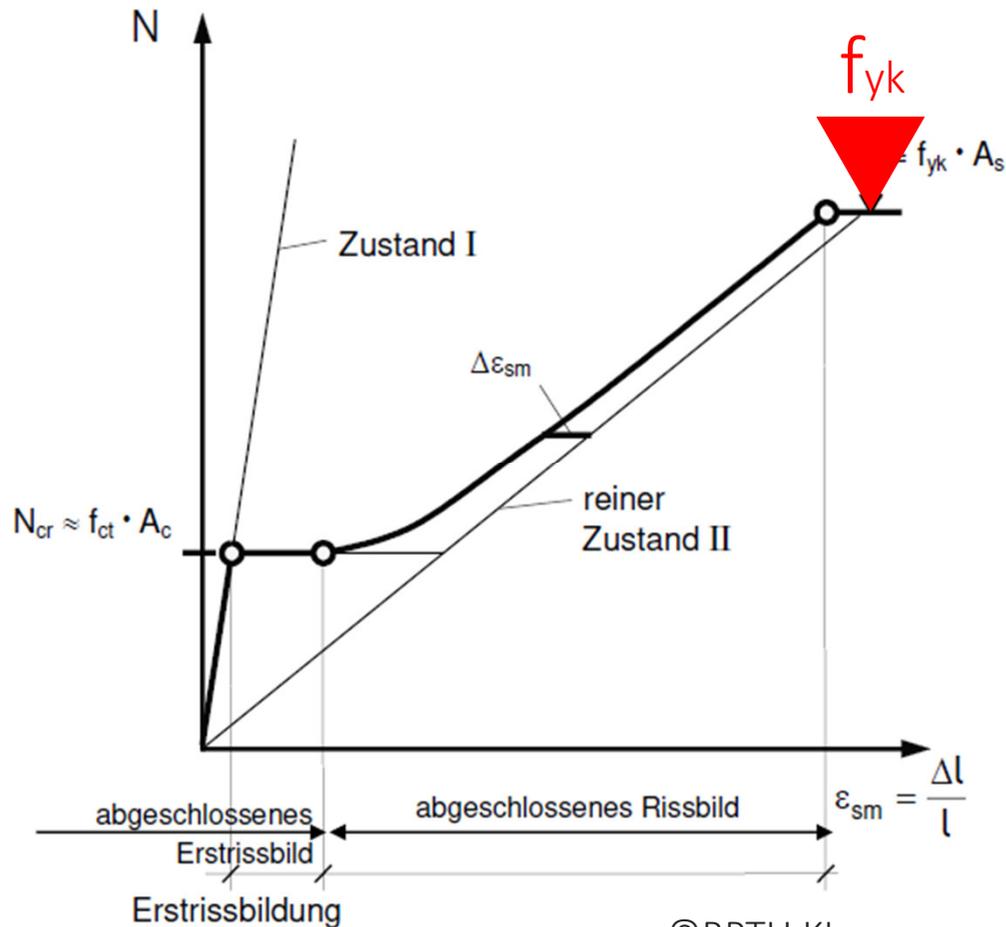
ANMERKUNG 1 Siehe auch 7.3 für die Querschnittsflächen der Längszugbewehrung zur Begrenzung der Rissbreiten.

Die Mindestbewehrung $A_{s,min}$ zur Sicherstellung eines duktilen Bauteilverhaltens ist für das Rissmoment (bei Vorspannung ohne Anrechnung der Vorspannkraft) mit dem Mittelwert der Zugfestigkeit des Betons f_{ctm} nach Tabelle 3.1 und einer Stahlspannung $\sigma_s = f_{yk}$ zu berechnen.

$$\min A_s = f_{ctm} \cdot A_{ci} / f_{yk}$$

ansonsten unbewehrt

Rissbreiten im Gebrauchszustand



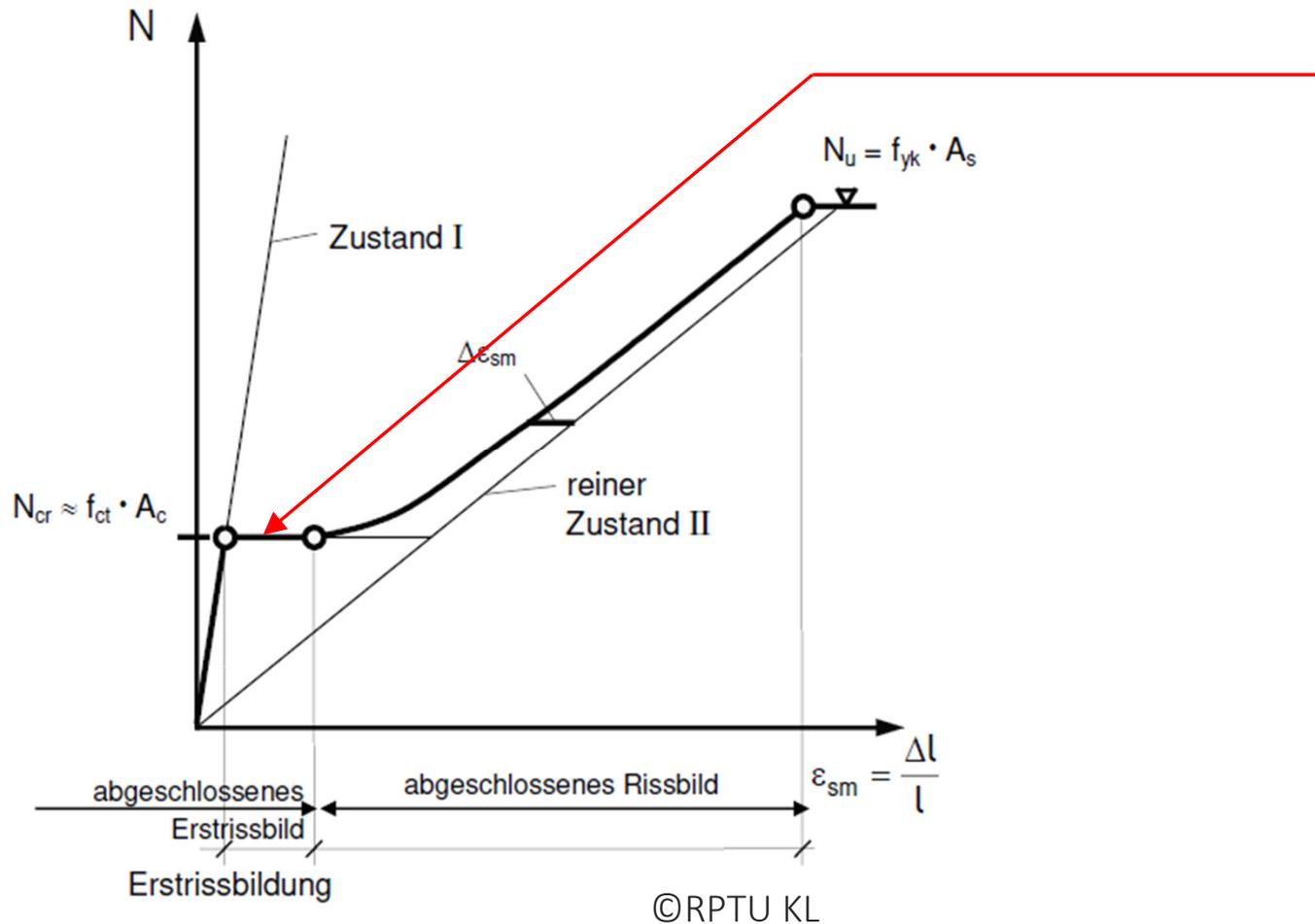
©RPTU KL

Sicherheit $\gamma \approx \gamma_{G/Q} \cdot \gamma_s$
 $\approx 1,40 \cdot 1,15 = 1,6$

Stahlspannung Gebrauchszustand
 $\sigma_s \approx f_{yk} / \gamma \approx 500 / 1,6 = 310 \text{ MN/m}^2$

Rissbreite (Rissabstand 200 mm)
 $w_k \approx s_r \cdot \epsilon \approx 0,2 \cdot 310 / 200 = 0,3 \text{ mm}$

Rissbreiten im Gebrauchszustand



$$s_{r,max} = 2 \cdot l_e = \frac{\sigma_{sr}^{II} \cdot \phi}{3,6 \cdot f_{ct,eff}}$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = 0,6 \cdot \varepsilon_s = 0,6 \sigma_s / E_s$$

$$w_k = s_r \cdot \varepsilon_m$$

$$= (\sigma_s^2 \cdot \phi) / (6 f_{ct,eff} E_s)$$

$$\sigma_s = \sqrt{(6 w_k f_{ct,eff} E_s / \phi)}$$

Tabelle 7.2DE – Grenzdurchmesser bei Betonstählen ϕ_s^* [mm]

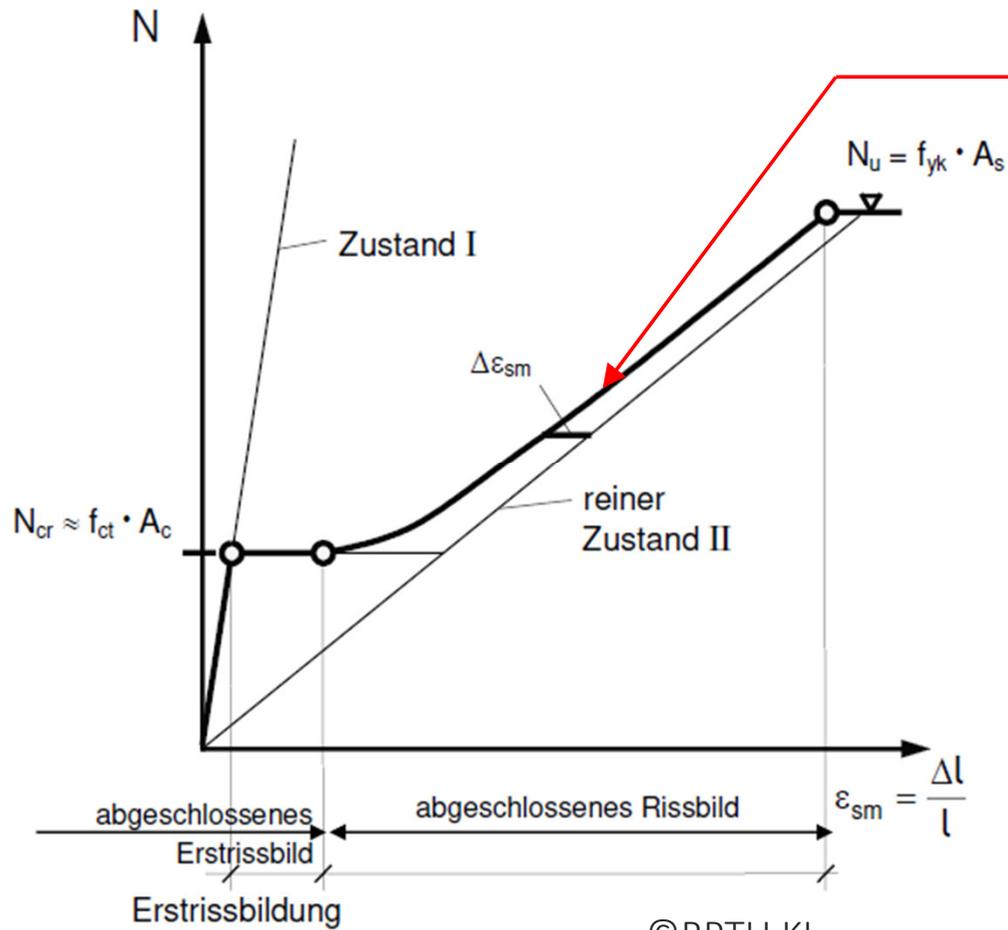
Stahlspannung $\alpha_s^{b)}$ N/mm ²	Grenzdurchmesser der Stäbe [mm] ^{a)}		
	$w_k = 0,4$ mm	$w_k = 0,3$ mm	$w_k = 0,2$ mm
160	54	41	27
180	43	32	21
200	35	26	17
220	29	22	14
240	24	18	12
260	21	15	10
280	18	13	9
300	15	12	8
320	14	10	7
340	12	9	6
360	11	8	5
400	9	7	4
450	7	5	3

^{a)} Die Werte der Tabelle 7.2DE basieren auf den folgenden Annahmen: Grenzwerte der Gleichungen (7.9) und (7.11) mit $f_{ct,eff} = 2,9$ N/mm² und $E_s = 200.000$ N/mm².

$\sigma_s = \sqrt{\mu_s \cdot 3,48 \cdot 10^6 / \phi_s^*}$

^{b)} unter der maßgebenden Einwirkungskombination

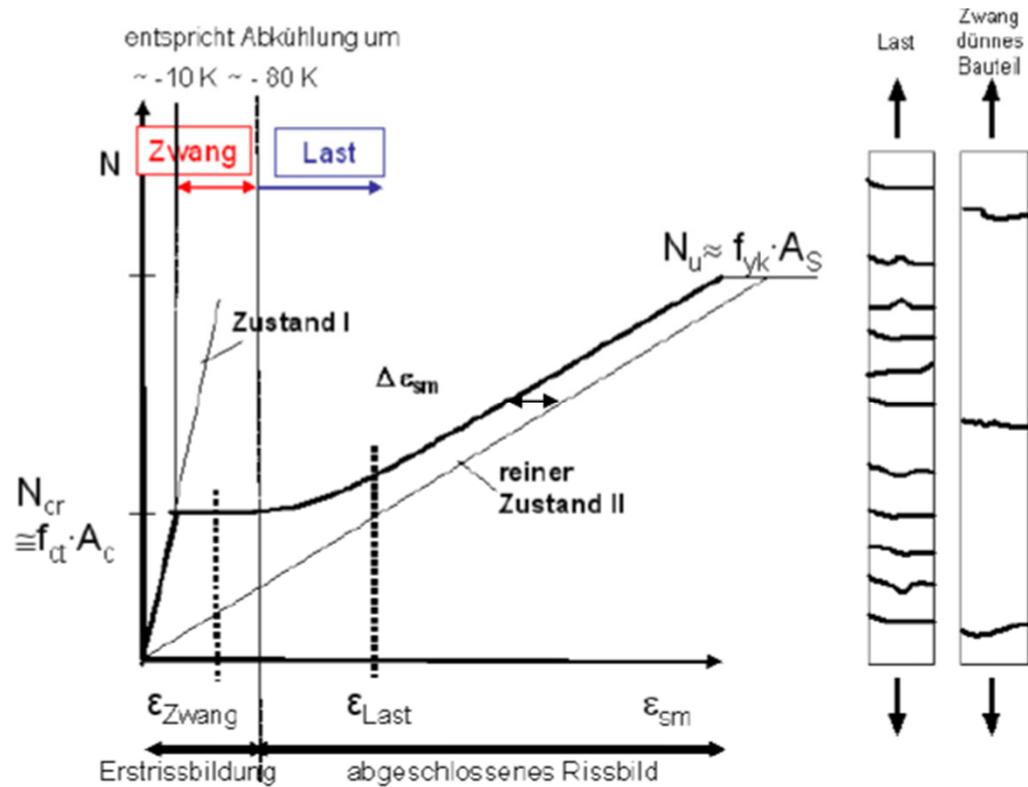
Rissbreiten im Gebrauchszustand



$$s_{r,max} = 2 \cdot l_e = \frac{\phi}{3,6 \cdot \text{eff}\rho}$$

$$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm} = \epsilon_s - 0,4 \cdot \frac{f_{ct,eff}}{\text{eff}\rho \cdot E_s} (1 + \alpha_e \cdot \text{eff}\rho)$$

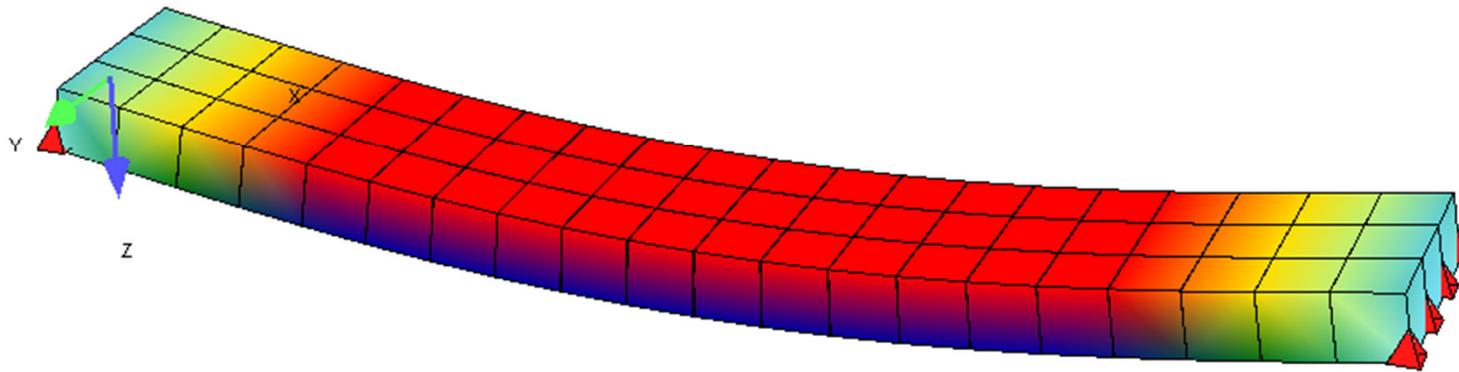
Zwangseinwirkung



©RPTU KL

Bei üblichen Bewehrungsgraden wird das abgeschlossene Erst-rissbild erst bei Dehnungen $\epsilon_{sm} \approx 0,80$ prm erreicht.

Beispiel



C 25/30
B 500B

L = 6,00 m
h = 0,30 m
d = 0,26 m

Einfeldträger Belastung $q_k = 16 \text{ kN/m}$, $q_d = 24 \text{ kN/m}$,
 $M_d = 24 \times 6^2 / 8 = 108 \text{ kNm}$ erf $a_s = 108 / 0,9 / 0,26 / 43,5 = 10,6 \text{ cm}^2$
Bewehrungswahl: $10 \text{ } \varnothing 12$ oben und unten, jeweils $11,3 \text{ cm}^2$

Lastbeanspruchung

$$M = 16 \times 6^2 / 8 = 72 \text{ kNm}$$

$$M_{\text{riss}} = 0,3^2 / 6 \times 2,56 = 38,4 \text{ kNm}$$

$$\sigma_s = 72 / 0,9 / 0,26 / 11,3 = 272 \text{ N/mm}^2$$

$$h_{\text{eff}} = (30 - 15) / 3 = 5 \text{ cm} \leq 2,5 \cdot 4 = 10 \text{ cm}$$

$$\rho_{\text{eff}} = 11,3 / 100 / 5 = 2,26\%$$

$$s_{r,\text{max}} = \emptyset / (3,6 \rho_{\text{eff}}) = 12 / 3,6 / (0,0226) = \underline{148 \text{ mm}}$$

$$s_{r,\text{max}} = \sigma_s \emptyset / (3,6 f_{\text{cteff}}) = 272 \cdot 12 / (3,6 \cdot 2,56) = 354 \text{ mm}$$

$$\epsilon_{\text{sm}} - \epsilon_{\text{cm}} = [272 - 0,4 \cdot (2,56 / 0,0226) (1 + 6,77 \cdot 0,0226)] / 200 = \underline{1,10 \text{ prm}}$$

$$\epsilon_{\text{sm}} - \epsilon_{\text{cm}} = 0,6 \cdot 272 / 200 = 0,816 \text{ prm}$$

$$w_k = 148 \cdot 1,10 / 1000 = 0,16 \text{ mm}$$

Schwindbeanspruchung

Mindestbewehrung $15 \cdot 0,3 \cdot 100 / 50 = 9 \text{ cm}^2$ pro Seite

Mindestbewehrung Zwang mit Beschränkung $w_k = 0,4 \text{ mm}$

$N = 0,8 \cdot 30 \cdot 100 \cdot 0,3 = 720 \text{ kN}$

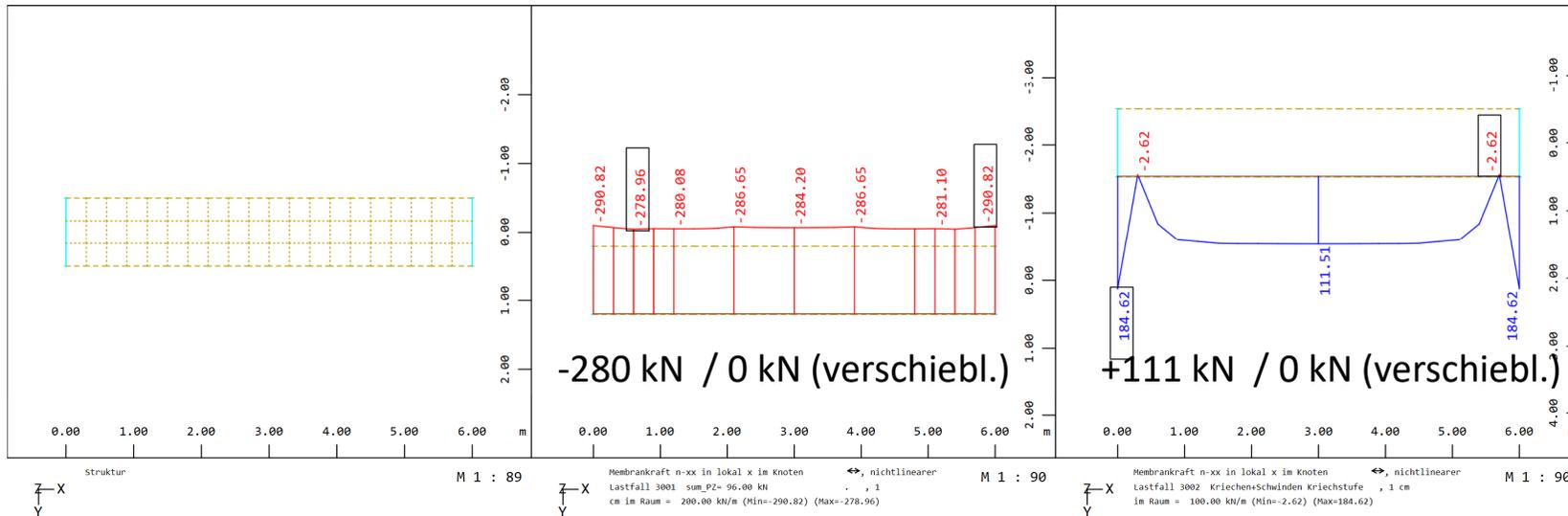
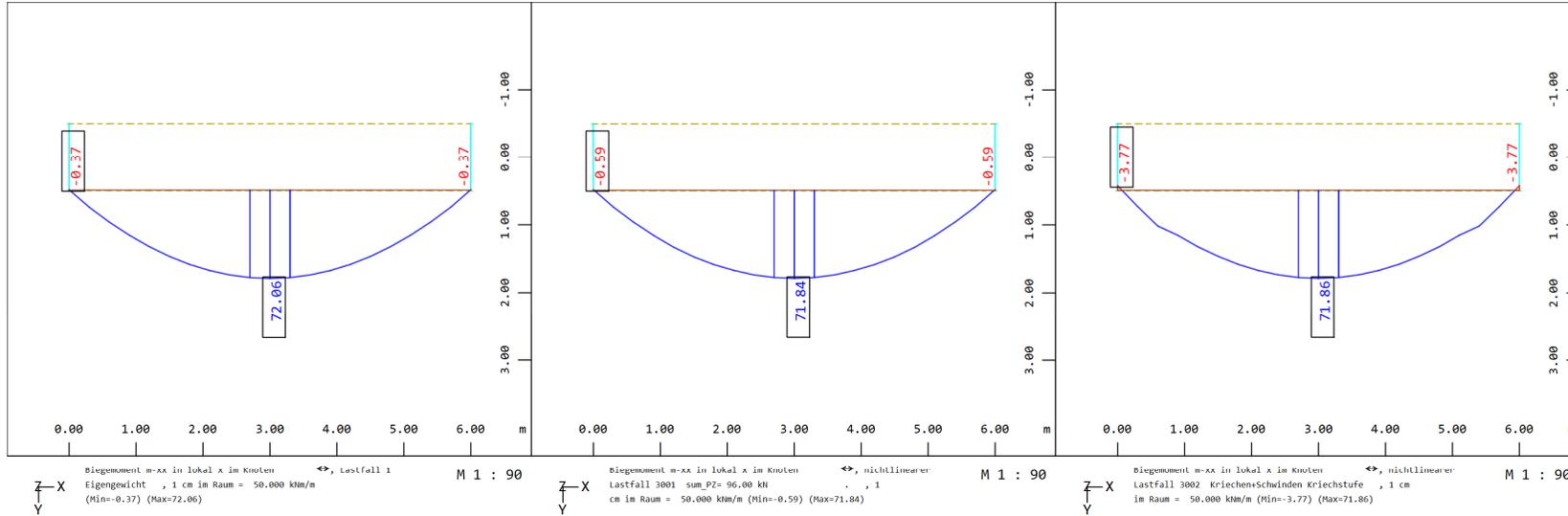
$\sigma_s = \sqrt{(6 w_k f_{cteff} E_s / \sigma)} = \sqrt{(6 \cdot 0,4 \cdot 3,0 \cdot 210000 / 12)} = 355 \text{ N/mm}^2$

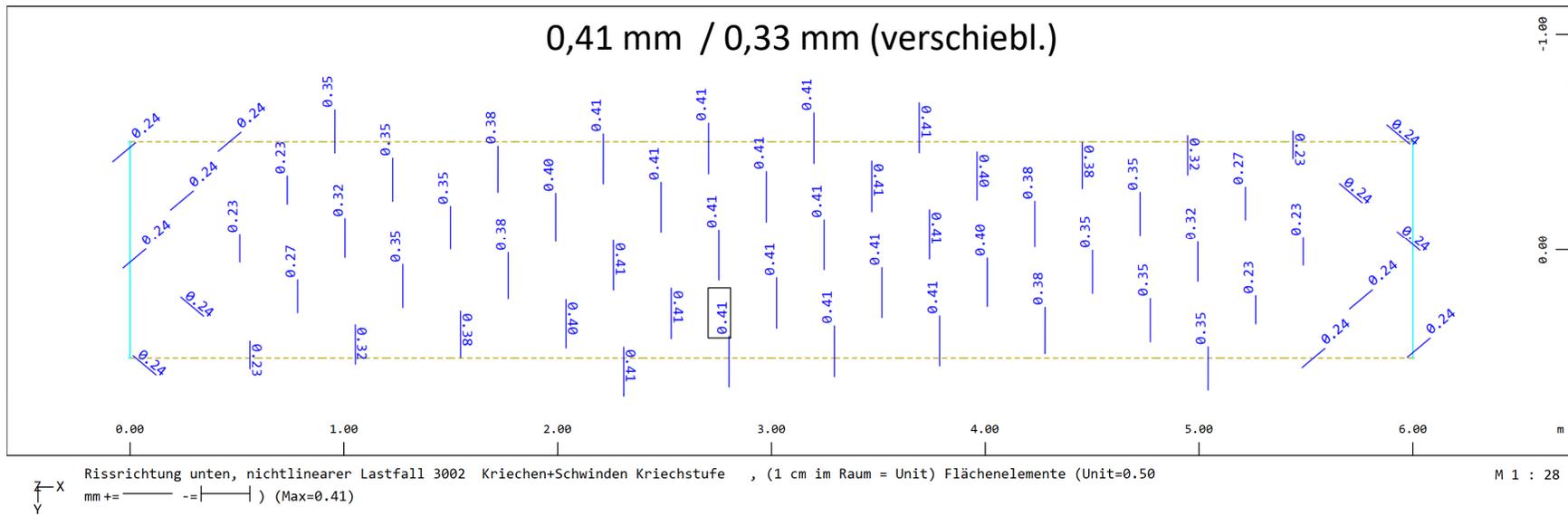
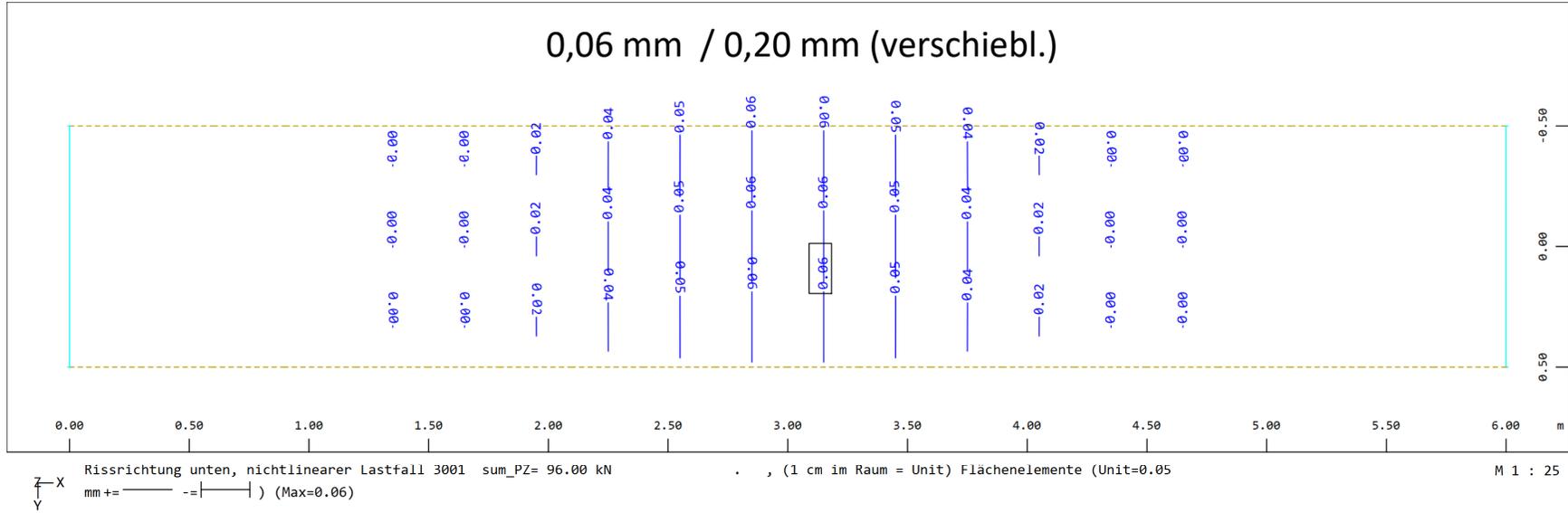
erf $a_s = 720 / 35,5 / 2 = 10,1 \text{ cm}^2$ je Seite

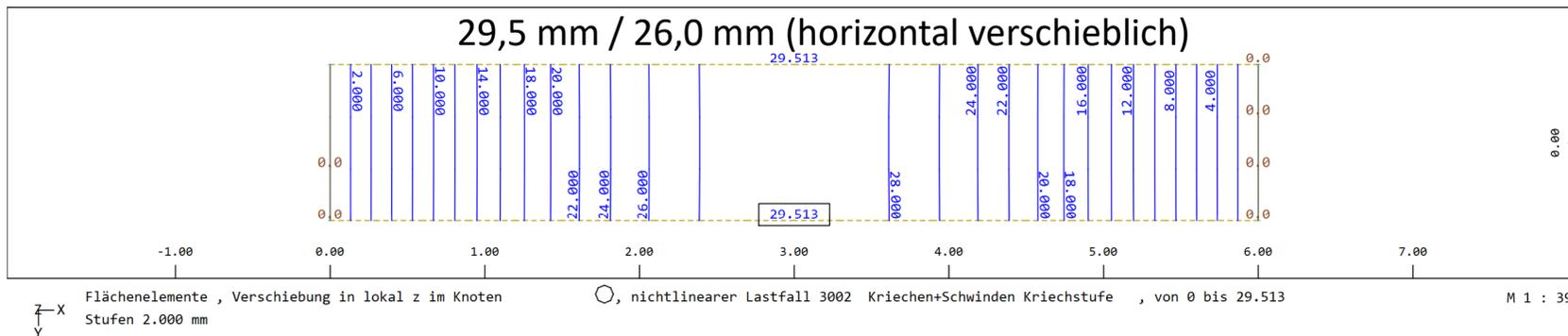
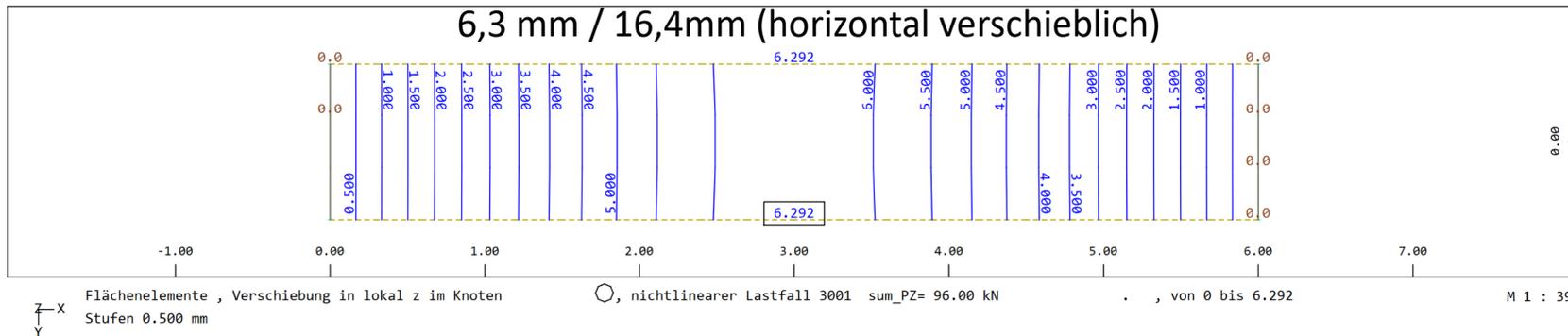
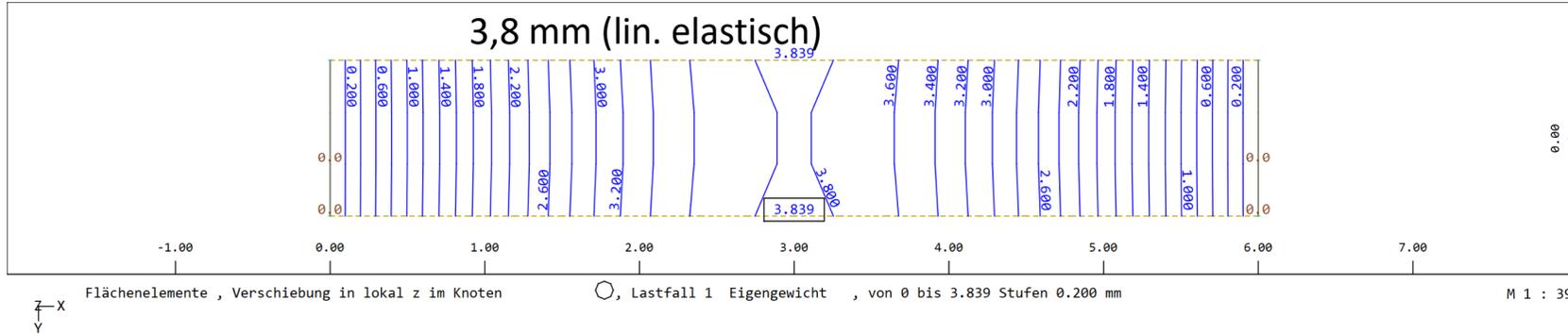
Rissbreite $0,40 \text{ mm}$ maßgebend gegenüber Last

Lastbeanspruchung führt zu sukzessiver Rissbildung,

demnach Verkleinerung des Rissabstandes $w_k = s_r \cdot (\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm})$

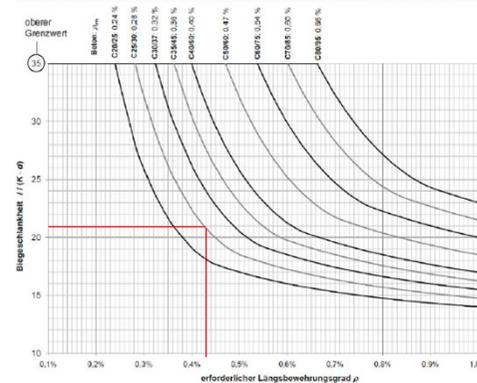






Geometrie			
Breite	b	1,000 [m]	
Höhe	h	0,300 [m]	
Abstand	d1	0,040 [m]	
Abstand	d2	0,040 [m]	
Statische Höhe	d	0,260 [m]	
Bewehrung			
Zugbewehrung	As1	11,30 [cm ²]	
Druckbewehrung	As2	11,30 [cm ²]	
Material			
Stahl Emodul	Es	200000 [MN/m ²]	
Beton Emodul	Ec	31000 [MN/m ²]	
Beton Zugfestigkeit	fctm	2,56 [MN/m ²]	
Kriechbeiwert	phi	2,50 [-]	
Schwinddehnung	es	0,50 [prom.]	
Effektiver E-Modul	Ec,eff	8857 [MN/m ²]	
Es / Ec	ae	22,58 [-]	
Rissmoment	Mcr	38 [kNm]	
Trägergeometrie			
Spannweite	L	6,000 [m]	
Moment Gebrauchszustand	M	72 [kNm]	
Langzeitbeiwert	Beta	0,50 [-]	
Trägerbeiwert	k	0,104	

Zustand I			Zustand II	
Bewehrungsgrad	rl	0,004 [-]	rlI	0,004 [-]
Beiwert	kx1	0,500 [-]	kx2	0,319 [-]
Druckzonenhöhe	x1	0,150 [m]	x2	0,083 [m]
Beiwert	A1	0,085 [-]	A2	0,113 [-]
Beiwert	B1	0,170 [-]	B2	0,196 [-]
Trägheitsmoment	I1	0,003 [m ⁴]	I2	0,001 [m ⁴]
Beiwert	k1	1,274 [-]	k2	0,708 [-]
Statisches Moment	S1	0,000 [m ³]	S2	0,000 [m ³]
			z	0,232 [m]
			ss	274 [MN/m ²]
Krümmung aus Last	1/r	2,835 [1/km]	1/r	7,737 [1/km]
Krümmung Schwinden	1/r	0,489 [1/km]	1/r	2,180 [1/km]
Summe		3,324 [1/km]		9,916 [1/km]
Durchbiegungsberechnung				
Zeta		0,858 [-]		
Mittlere Krümmung		8,979 [1/km]		
Mittlere Durchbiegung		34 mm		



vorh $L/d = 600/26 = 23$
 zul $f = 600/250 = 2,4 \text{ cm}$

erf $L/d = 21$
 erf $d = 600/21 = 28,6$
 erf $h = 28,6 + 4 = 32,6 \text{ cm}$

Schadensfälle mit Stand sicherheitsproblematik (Bilder vertraulich)

Schadensfälle Bodenplatten mit Zwangseinwirkungen (Bilder vertraulich)

- 1) Zwängungsfreie Lagerung / keine Zwängungen vorhanden, keine Mindestbewehrung erforderlich, kein Erreichen der Zugfestigkeit, rissfreie Platte
- 2) Zwängungen vorhanden und Unterteilung der Bodenplatte mit Anordnung von Sollrissstellen zur kontrollierten Rissbildung durch Anordnung von Fugen oder Einschnitten und nachträglicher Verpressung der Risse
- 3) Zwängungen vorhanden, keine Fugenunterteilung: Die Zwangsschnittgrößen sind durch Anordnung einer rissbreitenbegrenzenden Mindestbewehrung abzudecken (Verteilung eines breiten Einzelrisses auf viele kleine Risse mit geringer Rissbreite).

5 Empfehlungen für die Zukunft

5.1 Allgemeine Empfehlungen für alle am Bauprozess Beteiligten

Hier muss im Sinne eines funktionsfähigen Bauwerks vor allen Dingen an die Offenheit und Kooperationsbereitschaft der am Bau Beteiligten appelliert werden.

Betonhersteller sollten auf mögliche Anfragen von Tragwerksplanern vorbereitet sein und die Erhärtungsverläufe relevanter Betonsorten vorrätig haben und den Tragwerksplanern auf Anfrage zur Bemessung zur Verfügung stellen.

Ausführende Firmen sollten v. a. die Ausschreibungs- und Zeichnungsunterlagen genau daraufhin prüfen, inwieweit

- a) ein abgeminderter Wert der rechnerischen Zugfestigkeit zum Risszeitpunkt tragwerksplanerisch in Ansatz gebracht wurde und/oder
- b) eine Konstruktion vorliegt, die über ihre Lebensdauer hinweg den Lastfall später Zwang erfahren wird.

Andreas Meier

Der späte Zwang als unterschätzter – aber maßgebender – Lastfall für die Bemessung

Teil 2: Hinweise für Tragwerksplaner

5.2 Empfehlungen für die Tragwerksplanung

Es muss grundsätzlich vonseiten des Tragwerksplaners genau geprüft werden, ob tatsächlich Umgebungsbedingungen für das zu bemessende Stahlbetonbauteil vorliegen, die eine Annahme von *nur* frühem Zwang rechtfertigen.

Falls diese Situation tatsächlich vorliegt, sollte dennoch nicht automatisch ohne Grund die rechnerisch zwar mögliche, aber oft unzutreffende Bemessung mit einem maximal um 50% abgeminderten $f_{ct,eff}$ -Wert gewählt werden. Hier sollte insbesondere dem Bauherrn gegenüber, der als Einziger an einer beabsichtigten Bewehrungseinsparung ein wirtschaftliches Interesse hat, das erhöhte Risiko, das mit dieser Einsparung verbunden ist, nämlich etwaige unplanmäßige größere Rissbreiten, bewusst gemacht werden.

Wenn auch später Zwang irgendwann über die Lebensdauer des Stahlbetonbauteils hinweg gesehen möglich ist, muss dieser Lastfall bemessen werden.

FACHTHEMA

© Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG, Berlin. Beton- und Stahlbetonbau 110 (2015), Heft 3

Schadensfälle Verformungen (Bilder vertraulich)

Aus Schaden wird man klug?

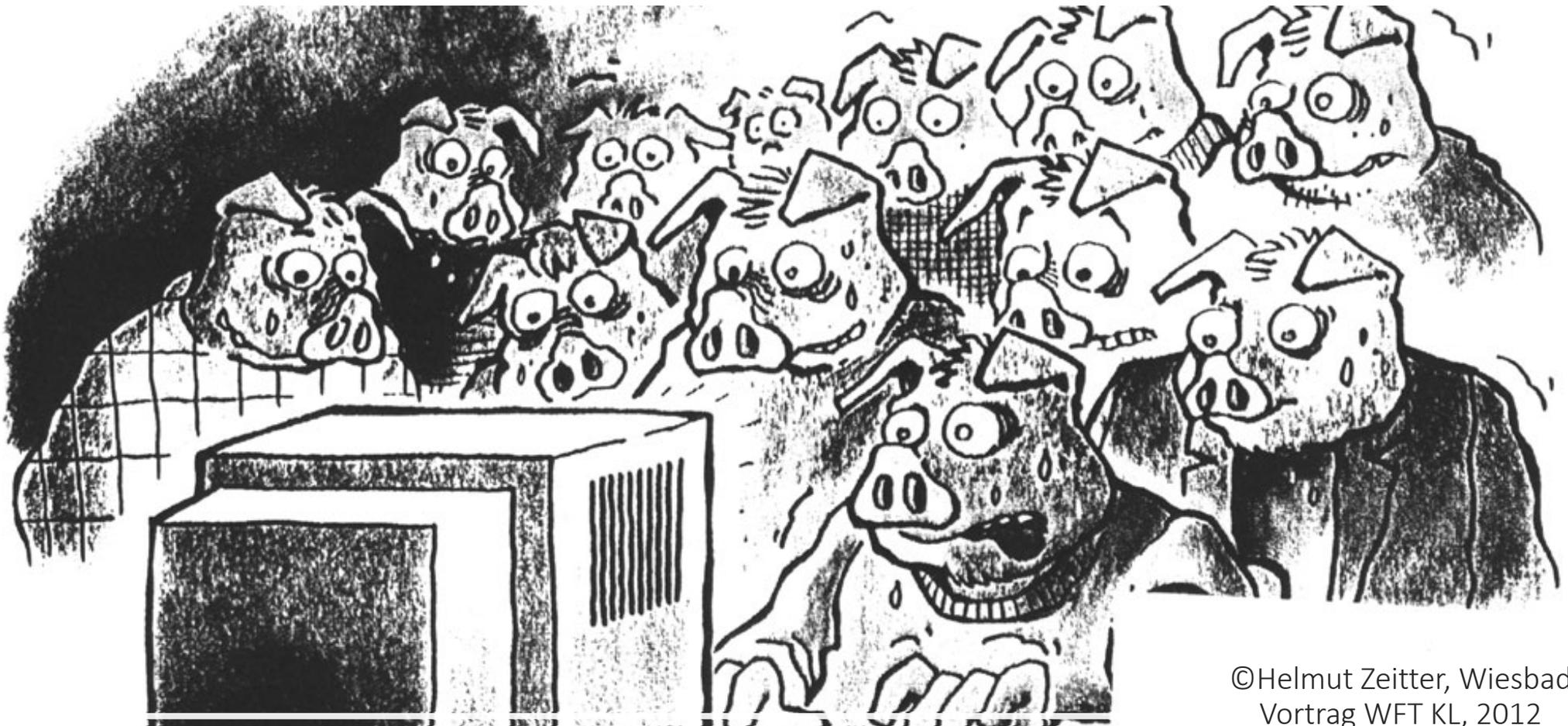
Standicherheit – meistens individuelle Fehler, die grob gegen die anerkannten Regeln der Technik verstoßen

Rissbildung - oftmals Zwang und fehlende Mindestbewehrung

Verformungen – zu schlanke Konstruktionen, Stützenfreiheit, schlanke Decken, Auskragungen, kein direkter Lastabtrag

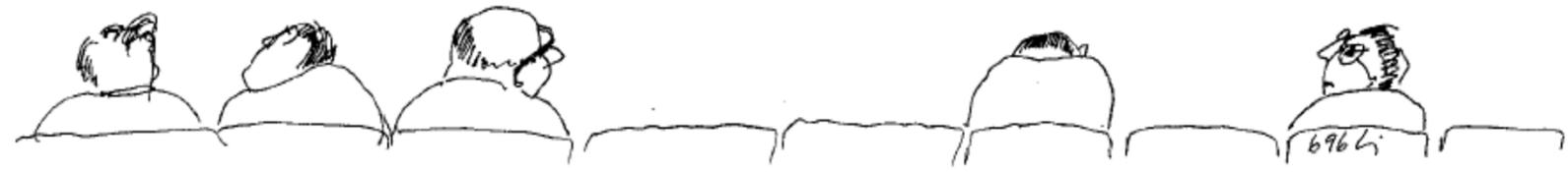
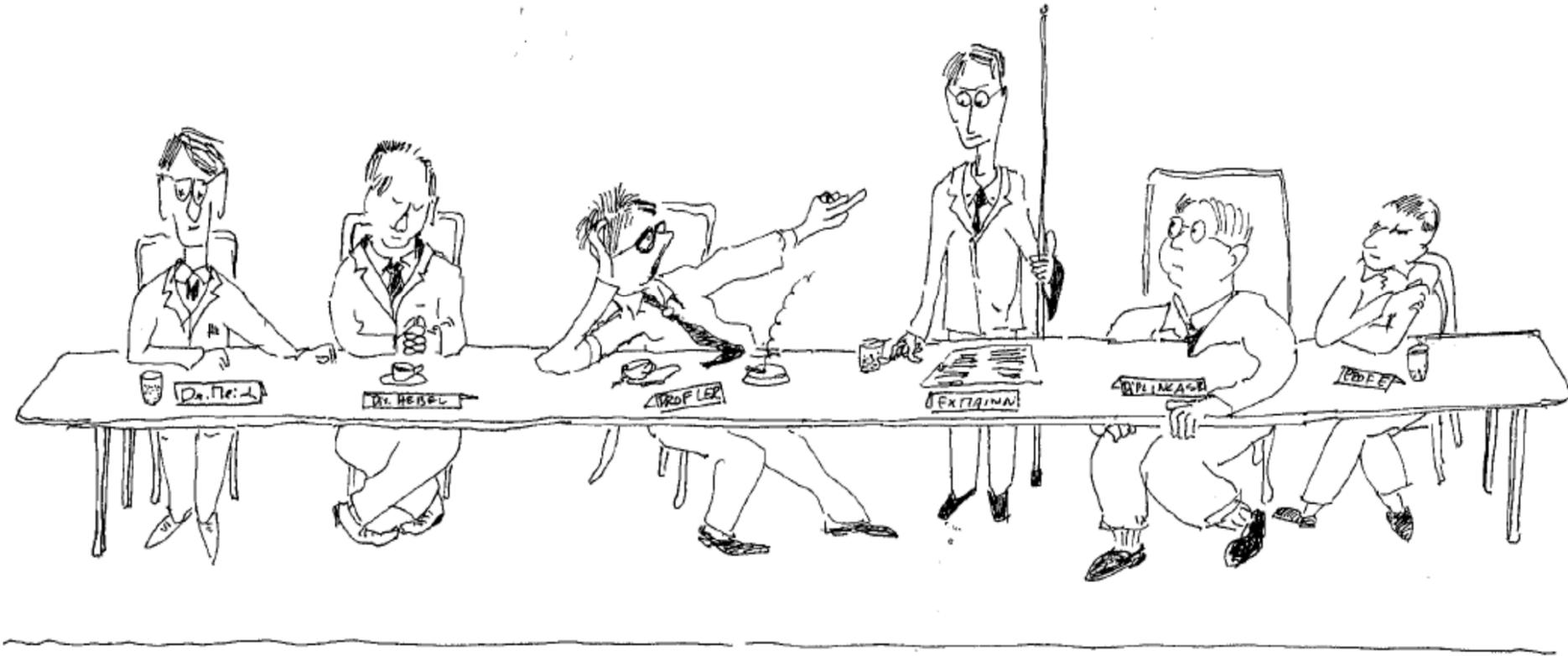


©CL



©Helmut Zeitter, Wiesbaden
Vortrag WFT KL, 2012

Zukunft des Ingenieurwesens ?



... den Ausführungen folgte eine anregende Diskussion.....

© K. Stiglat