

Heißbemessung von Stahlbetonstützen

Geschoss-Stützen DIN 4102-22 Tab. 31

In Heft 4/2007 Beton- und Stahlbetonbau haben Richter/Fingerloos die erweiterte Tabelle 31 der DIN 4102-22 vorgestellt und erläutert.

Damit steht für normale Geschossstützen ein Bemessungshilfsmittel zur Verfügung. Die Stützen müssen jedoch oben und unten rotationsgehalten sein und dürfen eine Länge von 6.00 m (eckig) bzw. 5.00 m (rund) nicht überschreiten.

Wir haben in unserem **Programm K.0001** diese Bemessung eingearbeitet. Die Zulässigkeit der Methode wird bei der Eingabe kontrolliert.

Vom Anwender werden lediglich zwei Zusatzeingaben verlangt.

Konstruktionswerte									
Raumgewicht	0.0 kN/m ³		Querschnittskorrektur	0		0 = nein, +1 = y, +2 = x-Richt.			
unterer Stützenabschnitt					oberer Stützenabschnitt				
Randabstand	d1x	4.2 cm	d1y	4.2 cm	d1x	cm	d1y	cm	
Bewehrungsgrad	min	0.10 %	max	6.00 %	min	%	max	%	
Bew. gestaffelt	n	0	0 = nein, >1 = Anzahl		n	0 = nein, >1 = Anzahl			
Kriechen	Betonalter bei Belastung	100	Tage rel. Luftfeuchtigkeit	50.0	%				
			Zementfestigkeitsklasse	2	1/2/3				
Brandschutz	Widerstandsklasse R	90	Beanspruchung	2	1/2				
1 = einseitig, 2 = mehrseitig									

Die Feuerwiderstandsklasse kann wahlweise bestimmt oder das Kaltbemessungsergebnis (Widerstandsklasse 0) eingestuft werden. Wird eine Widerstandsklasse angegeben, so wird die erforderliche Bewehrung hierfür ermittelt. Wird keine Widerstandsklasse angegeben, so wird das Ergebnis der Kaltbemessung in eine Widerstandsklasse R30, R60, R90 eingestuft.

Zusätzlich ist die Brandbeanspruchung einzugeben. Hier kann zwischen 1 = einseitig und 2 = allseitig unterschieden werden.

Der Bauteilwiderstand wird hierbei exakt iterativ ermittelt, um ein möglichst wirtschaftliches Ergebnis zu erzielen. Die außergewöhnlichen Einwirkungen werden nach DIN 1055-100 kombiniert. Bei zusätzlichem Momentenangriff wird der Anteil I. Ordnung konstant gehalten und nur der Anteil II. Ordnung entsprechend vergrößert.

Im Bild unten ist der Ausdruck einer 2.50 m hohen Pendelstütze 24/24 cm mit 4 d 28 mm (Beispiel 3 Veröffentlich. TU Braunschweig) dargestellt.

Brandschutznachweis

nach erweiterter Tabelle 31 DIN 4102-22 BuSt Heft 4/2007 S. 198 ff

bei der Ermittlung von N_{Rd} wird der Abminderungsbeiwert α nach DIN 1045-1 9.1.6 (2) mit 1.0 angenommen und M_{Rd} nur im Verhältnis $(M_{II} - M_I)/M_{II}$ vergrößert

LF	$N_{Ed, fi}$ kN	$M_{xEd, fi}$ kNm	$M_{yEd, fi}$ kNm	N_{Rd} kN	ρ %	$A_{s ges}$ cm ²	α_1	FWK R	h_{min} mm	u_{min} mm
1	873.80	12.65		1660.22	4.31	24.82	0.53	90	215	37

beliebige Stützen DIN EN 1992-1-2 Programm K.0003

Um auch beliebige Stützen für den Brandfall bemessen zu können, haben wir das Programm K.0003 neu entwickelt. Es basiert auf der im Anhang B beschriebenen Zonenmethode. Wir haben uns für dieses vereinfachte Rechenverfahren entschieden, da nach einer Analyse der wahrscheinlichen Rechenzeiten bei einem allgemeinen genauen Rechenverfahren mit exakter Auswertung der instationären Differenzialgleichungen für die Praxis nicht vertretbare Rechenzeiten, die teilwei-

se im Stundenbereich liegen, herausgekommen wären.

Wir haben deshalb unter Berücksichtigung der Empfehlungen der Norm folgende Festsetzungen getroffen:

Normbrandbeanspruchung, spezifische Wärme des Betons nach 3.2.2, thermische Leitfähigkeit des Betons untere Grenze nach Bild 3.7, Emissionswert der Betonoberfläche 0.7, konvektiver Wärmeübergangskoeffizient 25 W/m²K

Der Querschnitt wird sehr fein in 5 mm breite Zonen unterteilt und für jede Zone die mittlere Temperatur und der zugehörige Abminderungsfaktor k_c für die Betonfestigkeit ermittelt. Hierbei werden

quarzhaltige Zuschlagstoffe zugrunde gelegt. Hieraus wird dann die Breite der geschädigten Zone az bestimmt.

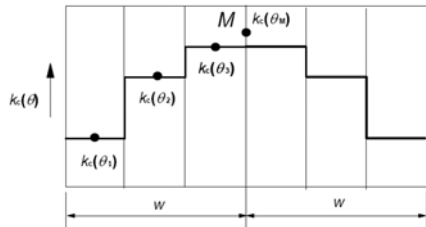


Bild B.4 — Unterteilung einer von beiden Seiten brandbeanspruchten Wand in Zonen für die Berechnung der Festigkeitsreduktion und a_s -Werte

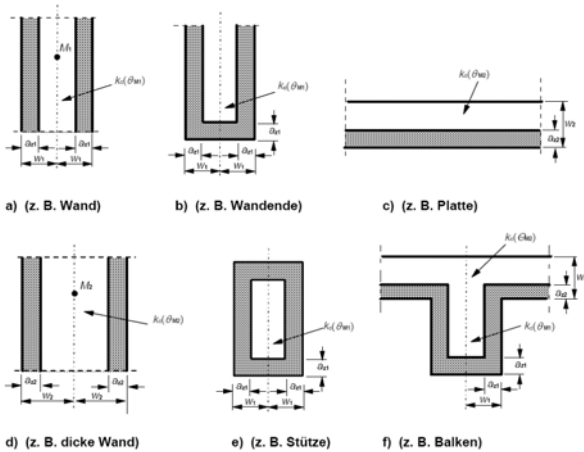


Bild B.3 — Reduktion der Festigkeit und des Querschnitts bei brandbeanspruchten Querschnitten

Das untere Bild zeigt die Temperaturverteilung bei einer Stahlbetonstütze 30/30 cm nach 90 Min. Brandangriff.

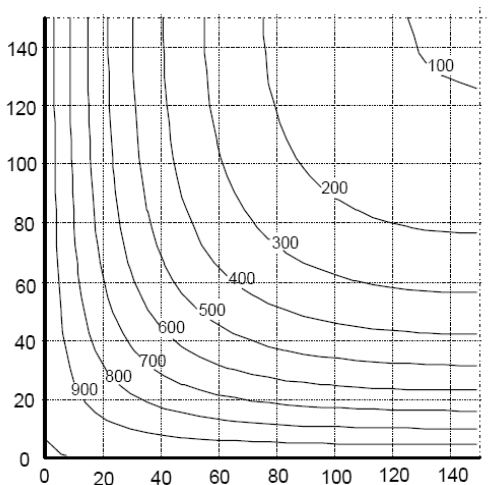
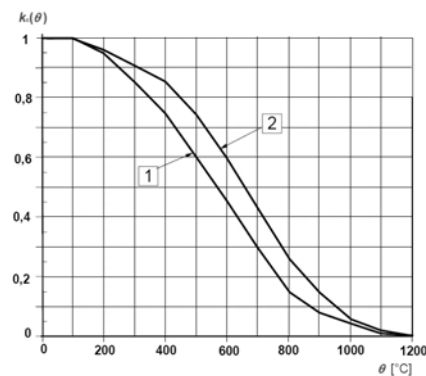


Bild A.13 — Temperaturprofile (°C) für eine Stütze, $h \times b = 300 \times 300 - R 90$

Die Temperatur der Stahleinlagen wird diagonal von der Querschnittsecke aus über die eingegebenen Randabstände berechnet.

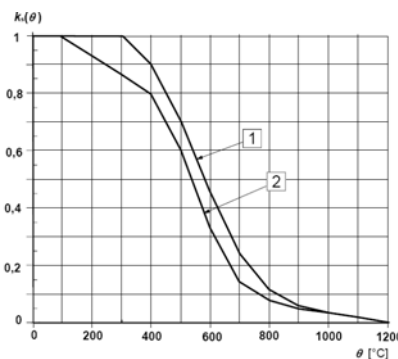
Hieraus ergibt sich der Abminderungsfaktor k_s für die Streckgrenze des Stahls und der reduzierte Elastizitätsmodul. Es wird hierbei Kurve 2 aus Bild 4.2b verwendet.

4.2.4.2 Beton



Kurve 1: Normalbeton mit quarzhaltigen Zuschlägen
Kurve 2: Normalbeton mit kalksteinhaltigen Zuschlägen

Bild 4.1 — Beiwert $k_s(\theta)$ zur Berücksichtigung des Abfalls der charakteristischen Druckfestigkeit (f_{ck}) von Beton

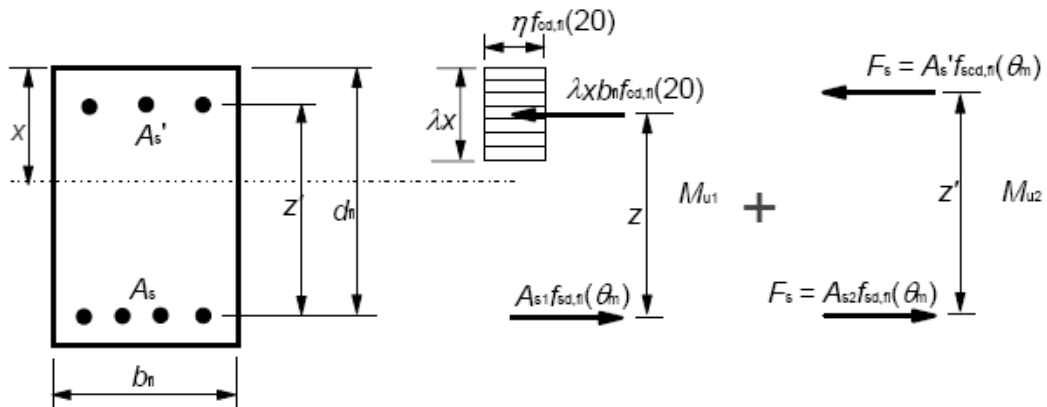


Kurve 1: Zugbewehrung (warmgewalzt und kaltverformt) mit $\epsilon_{s,s} \geq 2 \%$
Kurve 2: Druckbewehrung und Zugbewehrung (warmgewalzt und kaltverformt) mit $\epsilon_{s,s} < 2 \%$

Bild 4.2b — Beiwert $k_s(\theta)$ zur Berücksichtigung des Abfalls der charakteristischen Festigkeit (f_{ks}) von Zug- und Druckbewehrung (Klasse X)

Mit diesem reduzierten Querschnitt und den reduzierten Materialeigenschaften wird dann die außergewöhnliche Kombination nach DIN 1055-100 bemessen. Die Dehnungen werden hierbei nur bis ϵ_{c1} ausgenutzt.

Bei der Berechnung II. Ordnung wird zur Verfeinerung der Ergebnisse nicht mit dem Referenz-Elastizitätsmodul am Punkt M sondern mit dem gemittelten Elastizitätsmodul des reduzierten Querschnitts gerechnet.

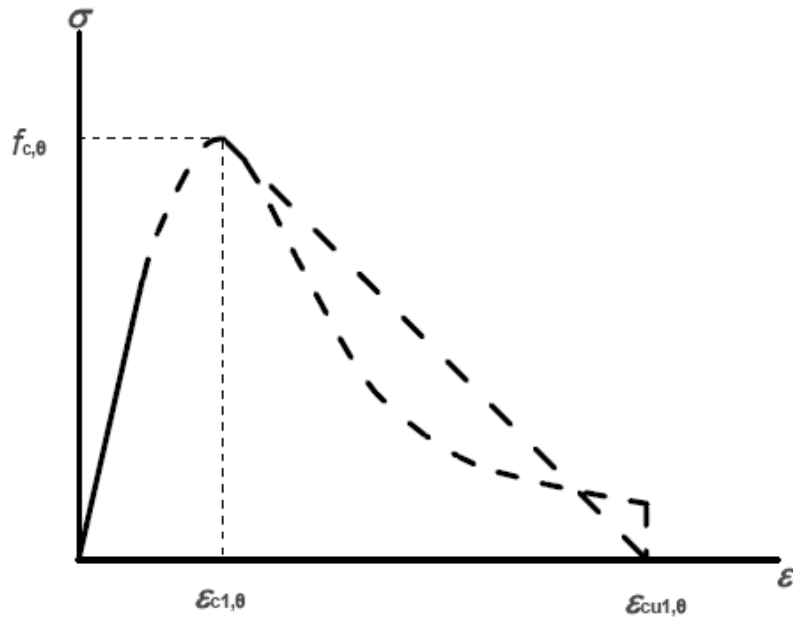


Legende

- b_{fi} Breite des tatsächlichen Querschnitts;
- d_{fi} statische Nutzhöhe des tatsächlichen Querschnitts;
- z Hebelarm zwischen Zugbewehrung und Beton;
- z' Hebelarm zwischen Zug- und Druckbewehrung;
- A_s Querschnittsfläche der Zugbewehrung;
- A_{s1} Anteil der Zugbewehrung im Gleichgewicht mit der Betondruckzone;
- A_{s2} Anteil der Zugbewehrung im Gleichgewicht mit der Druckbewehrung;
- A_s' Querschnittsfläche der Druckbewehrung;
- $f_{cd,fi}(20)$ Bemessungswert der Druckfestigkeit des Betons im Brandfall bei Umgebungstemperatur
 $= f_{ck}/\gamma_{c,fi}$;
- $f_{sd,fi}(\theta_m)$ Bemessungswert der Festigkeit der Zugbewehrung im Brandfall bei mittlerer Temperatur θ_m in der Lage;
- $f_{scd,fi}(\theta_m)$ Bemessungswert der Festigkeit der Druckbewehrung im Brandfall bei mittlerer Temperatur θ_m in der Lage;
- ANMERKUNG $f_{sd,fi}(\theta_m)$ und $f_{scd,fi}(\theta_m)$ können unterschiedliche Werte annehmen (siehe 4.2.4.3).
- F Gesamtkraft der Druckbewehrung im Brandfall, die mit einem Teil der Gesamtkraft in der Zugbewehrung gleich ist;
- λ, η und x sind in EN 1992-1-1 definiert.

Bild B.2 — Spannungsverteilung im Grenzzustand der Tragfähigkeit bei rechteckigem Betonquerschnitt mit Druckbewehrung

Die Bemessung wird analog dem oben gezeigten Blockdiagramm durchgeführt. Der Wert λ wird mit 0.8 angesetzt.



<p>Bereich</p> $\varepsilon \leq \varepsilon_{c1,\theta}$	<p>Spannung $\sigma(\theta)$</p> $\frac{3\varepsilon f_{c,\theta}}{\varepsilon_{c1,\theta} \left(2 + \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_{c1,\theta}} \right)^3 \right)}$
$\varepsilon_{c1(\theta)} < \varepsilon \leq \varepsilon_{cu1,\theta}$	<p>Für numerische Zwecke sollte ein abfallender Kurventeil angenommen werden. Lineare und nichtlineare Modelle sind zulässig.</p>

Bild 3.1 — Modell der Spannungs-Dehnungsbeziehungen für druckbeanspruchten Beton bei erhöhten Temperaturen

Die Spannungsdehnungsbeziehungen werden gemäß oben gezeigtem Modell angesetzt, wobei der abfallende Kurventeil nicht ausgenutzt wird.

Durch die festgelegten Parameter werden kaum nennenswerte Rechenzeiten bei sehr guten Ergebnissen erreicht.

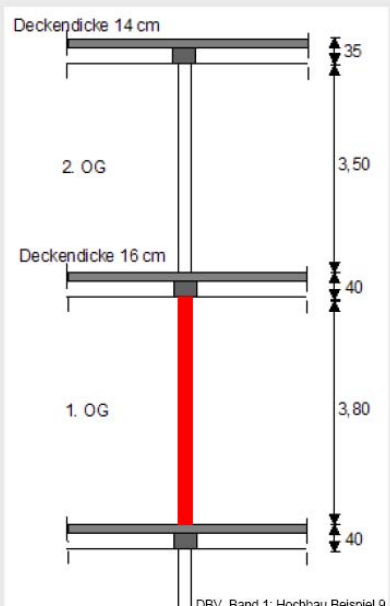
Die Eingabe beschränkt sich auch hier wie im Programm K.0001 auf zwei Zusatzeingaben.

Konstruktionswerte									
Raumgewicht	0.0 kN/m ³		Querschnittskorrektur		0 0 = nein, +1 = y-, +2 = x-Richt.				
unterer Stützenabschnitt					oberer Stützenabschnitt				
Randabstand	d1x	6.0 cm	d1y	6.0 cm	d1x	cm	d1y	cm	
Bewehrungsgrad	min	0.10 %	max	6.00 %	min	%	max	%	
Bew. gestaffelt	n	0	0 = nein, >1 = Anzahl		n	0 = nein, >1 = Anzahl			
Bewehrung	Bügel	deB 8 mm		Längseisen	maxde 28 mm				
Kriechen	Betonalter	100	Ta	rel. Luftfeucht	50.0 %	Zementkl	2	1/2/3	
Brandschutz	Beanspruchung	5	0 - 5		Widerstandsklasse R	90			
0 = nein, 1 = unten, 2 = links, 3 = oben, 4 = rechts, 5 = allseitig									

Es ist lediglich die Beanspruchungsart und die gewünschte Widerstandsklasse anzugeben. Mit Widerstandsklasse 0 kann auch hier das Kaltbemessungsergebnis eingestuft werden.

Im Folgenden werden 4 Beispiele aus einem Vortrag von Dr.-Ing. E. Richter iBMB TU Braunschweig vom April 2007 unserem Programm gegenübergestellt und die Ergebnisse erläutert.

Beispiel 1: Innenstütze

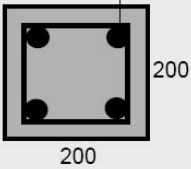


Innenstütze im 1. Obergeschoss eines Bürogebäudes ($\psi_{1,1} = 0,5$)
 Horizontale Aussteifung durch Wand- und Deckenscheiben vorhanden


Baustoffe: Beton C 30/37
 Betonstahl BSt 500 S (A)

Ersatzlänge: $l_0 = \beta \cdot l_{col} = 4,20 \text{ m}$


Querschnitt:
 $b / h = 200 / 200 \text{ mm}$
 $A_{s,tot} = 1257 \text{ mm}^2 (4 \varnothing 20)$
 Achsabstand $u = 40 \text{ mm}$



In welche Feuerwiderstandsklasse kann die Stütze eingestuft werden?

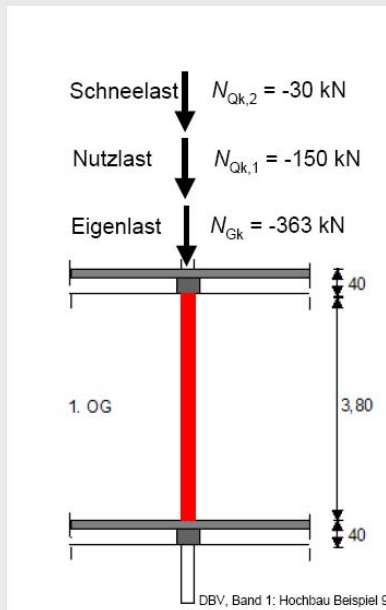


April 2007



80

Beispiel 1: Einwirkungen



Einwirkungen bei Normaltemperatur:

$$N_{Ed} = \gamma_G \cdot G_k + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \gamma_{Q,j} \cdot \psi_{0,j} \cdot Q_{k,j}$$

$$N_{Ed} = 1,35 \cdot 363 + 1,5 \cdot 150 + 1,5 \cdot 0,5 \cdot 30$$

$$N_{Ed} = 738 \text{ kN}$$

Einwirkungen im Brandfall:

$$N_{Ed,fi} = \gamma_{GA} \cdot G_k + \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \psi_{2,1} \cdot Q_{k,2}$$

$$N_{Ed,fi} = 1,00 \cdot 363 + 0,5 \cdot 150 + 0 \cdot 30$$

$$N_{Ed,fi} = 438 \text{ kN}$$

Ausnutzungsfaktor:

$$\alpha_1 = \frac{N_{Ed,fi}}{N_{Rd}} \approx \frac{N_{Ed,fi}}{N_{Ed}} = \frac{-438}{-738} = 0,60$$

Näherung: $N_{Rd} \approx N_{Ed}$

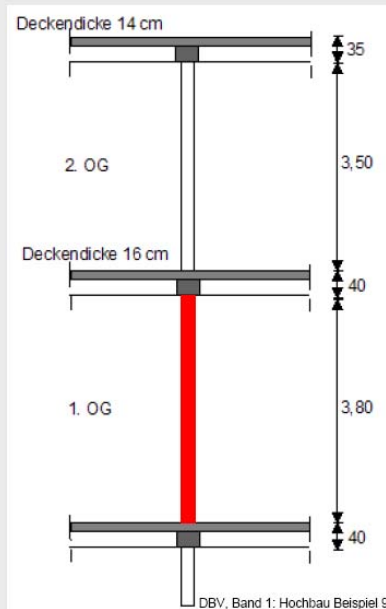


April 2007

IBMB
TU Braunschweig

81

Beispiel 1: Bauteilwiderstand N_{Rd}



Einwirkungen bei Normaltemperatur:

$$N_{Ed} = -738 \text{ kN}$$

Einwirkungen im Brandfall:

$$N_{Ed,fi} = -438 \text{ kN}$$

Bauteilwiderstand:

$$N_{Rd} = -768 \text{ kN}$$

Ausnutzungsfaktor:

$$\alpha_1 = \frac{N_{Ed,fi}}{N_{Rd}} = \frac{-438}{-768} = 0,57$$



April 2007

IBMB
TU Braunschweig

90

„Neue“ Bemessungstabelle für Stützen

Mindestquerschnittsabmessungen unbekleideter Stahlbetonstützen bei mehreseitiger Brandbeanspruchung bei einem:	Feuerwiderstandsklasse				
	R 30	R 60	R 90	R 120	R 180
Ausnutzungsfaktor $\alpha_1 = 0,2$					
Mindestdicke d in mm	120	120	180	240	290
zugehöriger Mindestachsabstand u in mm	34	34	37	34	40
Ausnutzungsfaktor $\alpha_1 = 0,5$					
Mindestdicke d in mm	120	180	270	300	400
zugehöriger Mindestachsabstand u in mm	34	37	34	40	46
Ausnutzungsfaktor $\alpha_1 = 0,7$					
Mindestdicke d in mm	120	250	320	360	490
zugehöriger Mindestachsabstand u in mm	34	37	40	46	46

Ausnutzungsfaktor $\alpha_1 = N_{Ed,fi} / N_{Rd} = 0,57$

für R 60: $d_{min} = 205 \text{ mm} \approx d_{vorh} = 200 \text{ mm} \approx \checkmark$

$u_{min} = 37 \text{ mm} < u_{vorh} = 40 \text{ mm} \checkmark$

Die nach DIN 1045-1 bemessene Innenstütze kann
in die Feuerwiderstandsklasse R 60 eingestuft werden.
Die Benennung lautet R 60



April 2007

IBMB
TU Braunschweig

91

Brandschutznachweis Feuerwiderstandsklasse R 60

nach EN 1992-1-2:2004 Anlage B B.2 Zonenmethode Normbrandbeanspruchung
spezifische Wärme Beton nach 3.2.2, Feuchte 1.5%, konvekt. Wärmeübergangskoeffizient 25 W/m²K
thermische Leitfähigkeit Beton unterer Grenzwert nach 3.3.3, Emissionswert der Betonoberfläche 0.7

Temperaturprofil und Materialfestigkeiten, reduzierter Querschnitt

temperaturabhängige Festigkeiten Beton nach Bild 4.1 Betonstahl nach Bild 4.2

Brandangriff allseitig $w = 100 \text{ mm}$ $n = 20$

	i	x mm	Θ_i °C	$k_c(\Theta)$	$f_c(\Theta)$ N/mm ²	i	x mm	Θ_i °C	$k_c(\Theta)$	$f_c(\Theta)$ N/mm ²
unten	1	2.5	869	0.12	3.7	2	7.5	770	0.21	6.4
	3	12.5	683	0.31	9.4	4	17.5	606	0.42	12.5
	5	22.5	538	0.52	15.5	6	27.5	480	0.61	18.3
	7	32.5	429	0.70	21.0	8	37.5	386	0.76	22.9
	9	42.5	350	0.81	24.2	10	47.5	319	0.84	25.1
	11	52.5	294	0.86	25.9	12	57.5	272	0.88	26.5
	13	62.5	254	0.90	27.0	14	67.5	239	0.91	27.4
	15	72.5	225	0.92	27.7	16	77.5	213	0.93	28.0
	17	82.5	201	0.94	28.3	18	87.5	188	0.95	28.5
	19	92.5	175	0.96	28.8	20	97.5	159	0.97	29.1
	M	100.0	150	0.98	29.3					

Beton $k_{cm} = 0.72$ $az = 32.7 \text{ mm}$ $h_{x,fi} = 13.5 \text{ cm}$ $h_{y,fi} = 13.5 \text{ cm}$
 $f_{c,M}(\Theta) = 29.3 \text{ N/mm}^2$ $E_{cd,M}(\Theta) = 30368 \text{ N/mm}^2$
 Stahl Randabstand $x = 56.6 \text{ mm diagonal}$ $\Theta = 497 \text{ °C}$
 $k_s(\Theta) = 0.61$ $f_{sy}(\Theta) = 303.2 \text{ N/mm}^2$ $E_s(\Theta) = 119603 \text{ N/mm}^2$

Die Tabelle zeigt den Temperaturverlauf in den 5 mm Zonen und dem Punkt M. Daraus abgeleitet werden die reduzierten Material- und Querschnittswerte.

Ersatzlängen, Schlankheiten

die Ersatzlängen werden mit den wirksamen Steifigkeiten und den charakteristischen Normalkräften der Lastfälle gerechnet, bei gestaffelter Bewehrung wird β nach Heft 525 um 10% erhöht
 KN erf. : Knicknachweis erforderlich

LF	Stab	I_{xw} dm ⁴	β_x	l_{ox} m	λ_x	KN erf.	I_{yw} dm ⁴	β_y	l_{oy} m	λ_y	KN erf.
1	unten	0.07	0.5	2.100	54.0	ja	0.07	0.5	2.100	54.0	ja

Bemessung

LEW Leiteinwirkung

Stahlbeton C 30 / 37 Betonstahl BSt 500 S (A)
 unten Randabstand $d_{lx} = 0.7$ cm, $d_{ly} = 0.7$ cm Kriechbeiwert $\phi =$

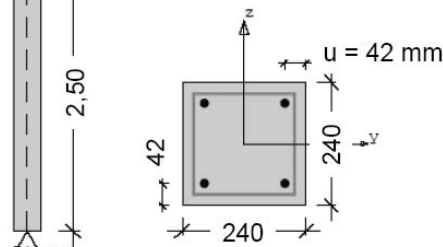
LF	Stab	ort m	LEW	M_{Ix} M_{IIx} kNm	M_{Iy} M_{IIy} kNm	N kN	e_o/h_x $e_{ks}/h(e_{a1}+e_{a2})/h$	e_o/h_y	ρ %	$A_{s_{ges}}$ cm ²
1	unten	0.000	10	0.00	0.00	-438.00			0.54	0.99
		1.400	10	0.00	0.00	-438.00	0.000	0.000	2.95	15.19
		4.200	10	25.49	0.00	-438.00	0.000	0.432	0.54	0.99

Die Bewehrung ist biegeorientiert einzulegen, bei Doppelbiegung oder Normalkraft ohne Biegung ist sie punktsymmetrisch auf die Ecken zu verteilen.

Die Berechnung II. Ordnung ergibt aufgrund des schlanken Ersatzquerschnittes und der relativ hohen Temperatur im Betonstahl für die Feuerwiderstandsklasse R60 ein A_s von 15.19 cm² und liegt damit geringfügig höher als das Einstufungsergebnis nach erweiterter Tab. 31 mit $A_s = 12.56$ cm².

Beispiel 3: Stützenbemessung

$P = -514$ kN
 $G = -514$ kN
 Pendelstütze $l = 2,50$ m
 Beton C 20/25
 BSt 500 S (B)
 Verkaufsräume: $\psi_{11} = 0,7$



Zeichnung: S. Agatz
 KUNKEL + Partner

Einwirkungen bei Normaltemperatur

$$N_{Ed} = 1,35 \cdot 514 + 1,5 \cdot 514 = 1465 \text{ kN}$$

Bemessung nach DIN 1045-1:

$$vorh A_s \Rightarrow 4\emptyset 28$$

Einwirkungen im Brandfall

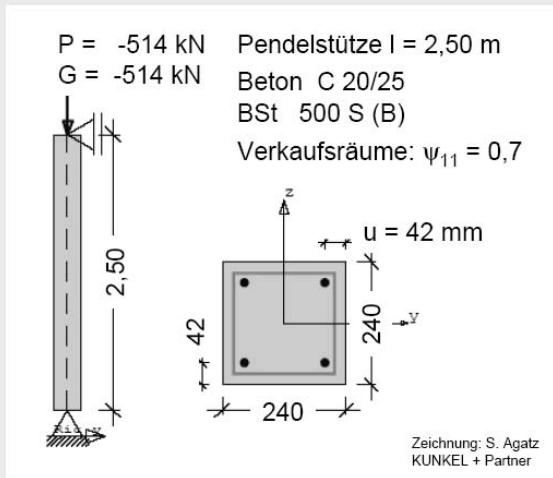
$$N_{Ed,fi} = \gamma_{Ga} \cdot N_G + \psi_{1,1} \cdot N_Q$$

$$N_{Ed,fi} = 1,0 \cdot 514 + 0,7 \cdot 514 = 874 \text{ kN}$$

Ziel der brandschutztechnischen Bemessung:
 Klassifizierung in R 90



Beispiel 3: Stützenbemessung



Einwirkungen bei Normaltemperatur

$$N_{Ed} = 1,35 \cdot 514 + 1,5 \cdot 514 = 1465 \text{ kN}$$

Bemessung nach DIN 1045-1:

$$vorhA_s \Rightarrow 4\text{Ø}28$$

Einwirkungen im Brandfall

$$N_{Ed,fi} = \gamma_{Ga} \cdot N_G + \psi_{1,1} \cdot N_Q$$

$$N_{Ed,fi} = 1,0 \cdot 514 + 0,7 \cdot 514 = 874 \text{ kN}$$

Ausnutzungsfaktor:

$$N_{Rd} \approx N_{Ed} = 1465 \text{ kN}$$

$$\alpha_1 = \frac{874}{1465} \approx 0,60$$

Klassifizierung nach Tab. 31 ?



April 2007



Bemessungstabelle für Stützen

□ Mindestquerschnittswerte d_{R90}

d_{R90} [mm]	$l = 2,0 \text{ m}$	$l = 2,50 \text{ m}$	$l = 6,0 \text{ m}$
$\alpha_1 = 0,5$	200 →	209 ↓	← 270
$\alpha_1 = 0,6$		234	
$\alpha_1 = 0,7$	250 →	259 ↑	← 320

$$d_{R90} = 234 \text{ mm} < d_{vorh} = 240 \text{ mm} \quad \checkmark$$

□ Mindestachsabstände u_{R90}

u_{R90} [mm]	$l = 2,0 \text{ m}$	$l = 2,50 \text{ m}$	$l = 6,0 \text{ m}$
$\alpha_1 = 0,5$	34 →	34 ↓	← 34
$\alpha_1 = 0,6$		35,7	
$\alpha_1 = 0,7$	37 →	37,4 ↑	← 40

$$u_{R90} = 35,7 \text{ mm} < u_{vorh} = 42 \text{ mm} \quad \checkmark$$

Die nach DIN 1045-1 bemessene Stütze kann in die Feuerwiderstandsklasse R 90 eingestuft werden.



April 2007



Brandschutznachweis Feuerwiderstandsklasse R 90

nach EN 1992-1-2:2004 Anlage B B.2 Zonenmethode Normbrandbeanspruchung
 spezifische Wärme Beton nach 3.2.2, Feuchte 1.5%, konvekt. Wärmeübergangskoeffizient 25 W/m²K
 thermische Leitfähigkeit Beton unterer Grenzwert nach 3.3.3, Emmissionswert der Betonoberfläche 0.7

Temperaturprofil und Materialfestigkeiten, reduzierter Querschnitt

temperaturabhängige Festigkeiten Beton nach Bild 4.1 Betonstahl nach Bild 4.2

Brandangriff allseitig

w = 120 mm n = 24

	i	x mm	Θ_i °C	k_c(Θ)	f_c(Θ) N/mm ²	i	x mm	Θ_i °C	k_c(Θ)	f_c(Θ) N/mm ²
unten	1	2.5	944	0.07	1.4	2	7.5	856	0.13	2.7
	3	12.5	777	0.21	4.2	4	17.5	705	0.29	5.7
	5	22.5	641	0.37	7.3	6	27.5	584	0.45	8.9
	7	32.5	533	0.52	10.5	8	37.5	488	0.60	11.9
	9	42.5	449	0.66	13.3	10	47.5	415	0.73	14.5
	11	52.5	385	0.77	15.3	12	57.5	359	0.80	15.9
	13	62.5	337	0.82	16.4	14	67.5	319	0.84	16.8
	15	72.5	303	0.85	17.1	16	77.5	289	0.87	17.4
	17	82.5	277	0.88	17.6	18	87.5	266	0.89	17.8
	19	92.5	256	0.90	18.0	20	97.5	247	0.91	18.1
	21	102.5	238	0.91	18.3	22	107.5	228	0.92	18.4
	23	112.5	217	0.93	18.6	24	117.5	204	0.94	18.8
	M	120.0	197	0.94	18.9					

Beton $k_{cm} = 0.67$ $az = 43.0$ mm $h_{x,fi} = 15.4$ cm $h_{y,fi} = 15.4$ cm

$f_{c,M}(\Theta) = 18.9$ N/mm² $E_{cd,M}(\Theta) = 25689$ N/mm²

Stahl Randabstand $x = 59.4$ mm diagonal $\Theta = 639$ °C

$k_s(\Theta) = 0.26$ $f_{sy}(\Theta) = 130.2$ N/mm² $E_s(\Theta) = 44866$ N/mm²

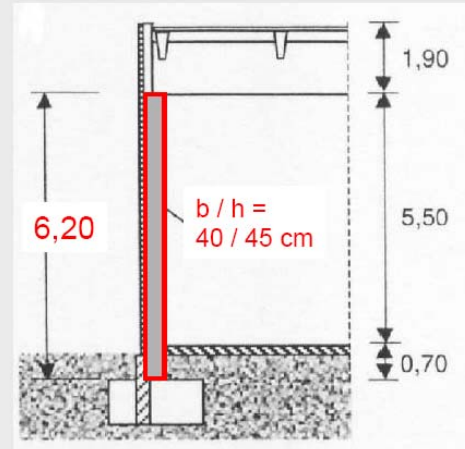
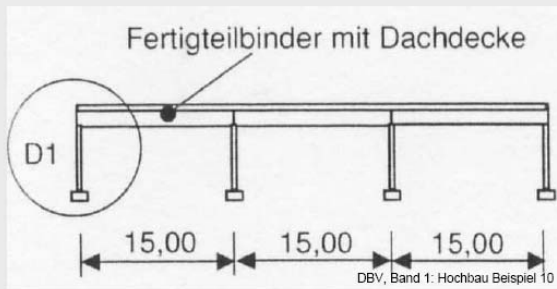
Stütze kann nicht in R 90 eingestuft werden

Im Gegensatz zur Tab. 31 kann diese Stütze mit dem Programm K.0003 nicht eingestuft werden. Dies liegt darin begründet, dass der Bauteilwiderstand zu klein ist, um die Einwirkung $N_{Ed,fi}$ aufzunehmen:

$$N_{Rd,fi} = 15.4 \times 15.4 \times 18.9/10 + 4 \times 6.16 \times 130.2/10 = 769 \text{ kN} < 874 \text{ kN}$$

Schon die Regelbemessung ohne II. Ordnung scheitert daran. Für diesen Fall besteht Klärungsbedarf mit der TU Braunschweig.

Beispiel 4: Randstütze einer Halle



Annahme:
In Hallenquerrichtung nicht ausgesteift

- ❑ Keine horizontale Halterung am Kopfpunkt
- ❑ Keine Rotationsbehinderung am Kopfpunkt
- ❑ Stützenlänge $l_{col} > 6$ m

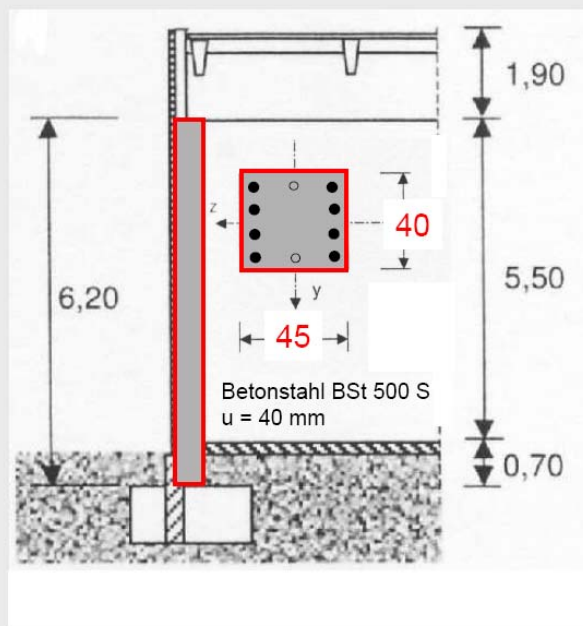
Nachweis mit allg. Rechenverfahren erforderlichlich



April 2007

iBMB
TU Braunschweig 109

Beispiel 4: Einwirkungen



Einwirkungen bei Normaltemperatur

$$N_{Ed} = -633 kN$$

Einwirkungen im Brandfall

$$N_{Ed,fi} = \gamma_{GA} \cdot G_k + \psi_{2,1} \cdot Q_{k,2}$$

$$N_{Ed,fi} = 1,00 \cdot (-431) + 0 \cdot 68$$

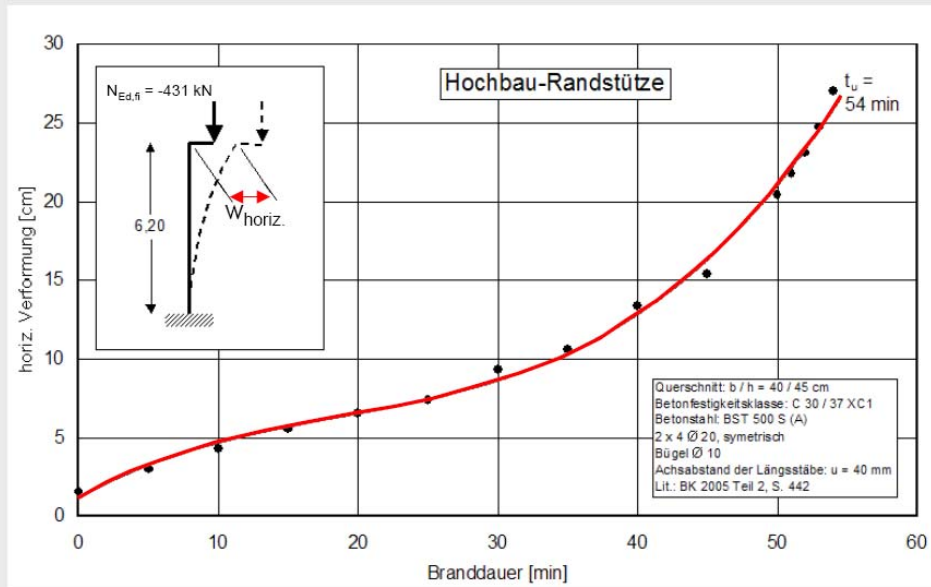
$$N_{Ed,fi} = -431 kN$$



April 2007

iBMB
TU Braunschweig 110

Horizontale Verformung am Stützenkopf



April 2007

ibmb
TU Braunschweig 111

Brandschutznachweis Feuerwiderstandsklasse R 60

nach EN 1992-1-2:2004 Anlage B B.2 Zonenmethode Normbrandbeanspruchung
 spezifische Wärme Beton nach 3.2.2, Feuchte 1.5%, konvekt. Wärmeübergangskoeffizient 25 W/m²K
 thermische Leitfähigkeit Beton unterer Grenzwert nach 3.3.3, Emmissionswert der Betonoberfläche 0.7

Temperaturprofil und Materialfestigkeiten, reduzierter Querschnitt

temperaturabhängige Festigkeiten Beton nach Bild 4.1 Betonstahl nach Bild 4.2

Brandangriff allseitig $w = 200$ mm $n = 40$

	i	x mm	Θ_i °C	$k_c(\Theta)$	$f_c(\Theta)$ N/mm ²	i	x mm	Θ_i °C	$k_c(\Theta)$	$f_c(\Theta)$ N/mm ²
unten	1	2.5	841	0.15	4.4	2	7.5	737	0.25	7.5
	3	12.5	645	0.36	10.9	4	17.5	564	0.48	14.3
	5	22.5	493	0.59	17.6	6	27.5	432	0.69	20.8
	7	32.5	379	0.77	23.2	8	37.5	333	0.82	24.7
	9	42.5	295	0.86	25.9	10	47.5	262	0.89	26.8
	11	52.5	233	0.92	27.5	12	57.5	209	0.94	28.1
	13	62.5	188	0.95	28.5	14	67.5	168	0.96	28.9
	15	72.5	150	0.98	29.3	16	77.5	132	0.99	29.6
	17	82.5	114	1.00	29.9	18	87.5	<100	1.00	30.0
	M	200.0	<100	1.00	30.0					

Beton $k_{cm} = 0.89$ $az = 29.3$ mm $h_{x,fi} = 39.1$ cm $h_{y,fi} = 34.1$ cm
 $f_{c,M}(\Theta) = 30.0$ N/mm² $E_{cd,M}(\Theta) = 31900$ N/mm²
 Stahl Randabstand $x = 56.6$ mm diagonal $\Theta = 484$ °C
 $k_s(\Theta) = 0.63$ $f_{sy}(\Theta) = 315.9$ N/mm² $E_s(\Theta) = 124321$ N/mm²

Ersatzlängen, Schlankheiten

die Ersatzlängen werden mit den wirksamen Steifigkeiten und den charakteristischen Normalkräften der Lastfälle gerechnet, bei gestaffelter Bewehrung wird β nach Heft 525 um 10% erhöht
 KN erf. : Knicknachweis erforderlich

LF	Stab	I_{3CW} dm ⁴	β_k	l_{0x} m	λ_x	KN erf.	I_{yW} dm ⁴	β_y	l_{0y} m	λ_y	KN erf.
1	unten	3.02	2.0	12.400	109.7	ja	2.29	2.0	12.400	125.8	ja

Bemessung

LEW Leiteinwirkung

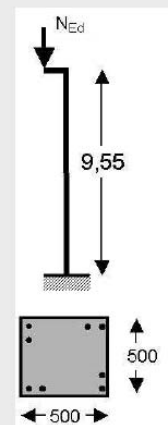
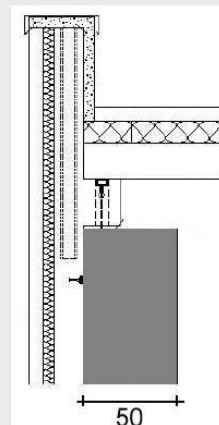
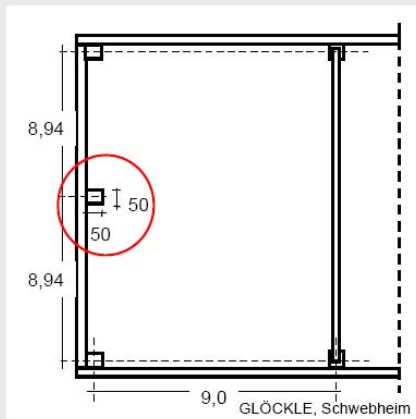
Stahlbeton C 30/ 37 Betonstahl BSt 500 S (A)
 unten Randabstand $d_{lx} = 1.1$ cm, $d_{ly} = 1.1$ cm Kriechbeiwert $\phi =$

LF	Stab	Ort	LEW	M_{Ix} M_{IIx} kNm	M_{Iy} M_{IIy} kNm	N kN	e_o/h_x $e_{ks}/h(e_a+e_2)/h$	e_o/h_y	ρ %	$A_{s_{ges}}$ cm ²
1	unten	0.000	12	-75.14 -226.58	0.00 0.00	-431.00	0.445 0.000	0.000 0.898	0.92	26.37

Die Bewehrung ist biegeorientiert einzulegen, bei Doppelbiegung oder Normalkraft ohne Biegung ist sie punktsymmetrisch auf die Ecken zu verteilen.

Bei dieser Stütze handelt es sich um das Beispiel 10 aus dem Band 1 Hochbau des DBV. Die Stütze wurde dort mit voller Einspannung am Fuß und Horizontallasten aus Wind gerechnet. Da dieser als Leiteinwirkung maßgebend wird, entfällt bei der außergewöhnlichen Kombination der Schneean teil, da $\psi_2 = 0$ ist. Dr. Richter gibt bei einem $A_s = 24.64$ cm² ein t_u von 54 min an. Unser Programm K.0003 ermittelt für eine Einstufung in die Widerstandsklasse R60 ein A_s von 26.37 cm².

Beispiel 6 : Giebelstütze einer Halle



- Keine horizontale Halterung am Kopfpunkt
- Keine Rotationsbehinderung am Kopfpunkt
- Stützenlänge $l_{col} > 6$ m
- Randbedingungen für tabellarische Bemessung nicht erfüllt

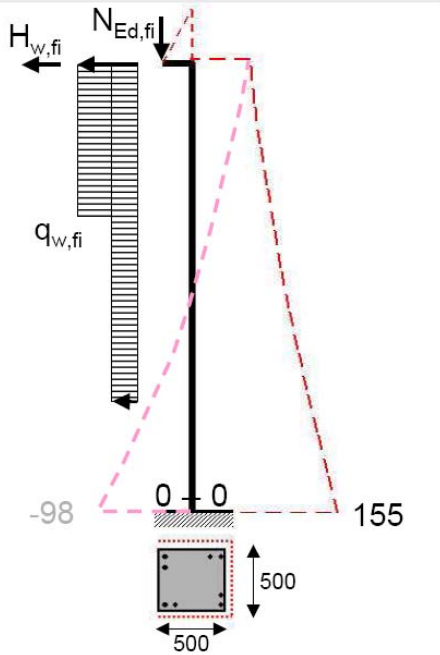
Beton C 30/37
 Betonstahl BSt 500 S (A)
 4 · 2 Ø 28, in den Ecken
 Achsabstand $u = 55$ mm



April 2007



Beispiel 6 : Einwirkungen



Einwirkungen **im Brandfall** ($\psi_{1,1} = 0,5$)

$$E_{d,fi} = \gamma_{GA} \cdot G_k \oplus \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1}$$

Leiteinwirkung : Winddruck

$$N_{Ed,fi} = 1,0 \cdot 218 + 0 = 218 \text{ kN}$$

$$H_{Ed,fi} = 1,0 \cdot 0 + 0,5 \cdot \{q_{w,k}^D; H_{w,k}^D\}$$

$$M_{Ed,fi, 0-0} = -98 \text{ kNm}$$

Leiteinwirkung : Windsog

$$N_{Ed,fi} = 1,0 \cdot 218 + 0 = 218 \text{ kN}$$

$$H_{Ed,fi} = 1,0 \cdot 0 + 0,5 \cdot \{q_{w,k}^S; H_{w,k}^S\}$$

$$M_{Ed,fi, 0-0} = 155 \text{ kNm (maßgebend)}$$

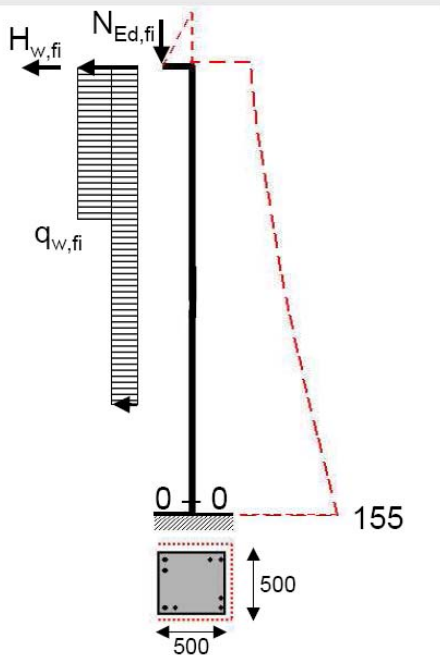


April 2007

iBMB
TU Braunschweig

122

Beispiel 6 : Tragfähigkeit



Nachweis **im Brandfall** im Schnitt 0 – 0
für t = 90 Minuten Normbrand

$$M_{Rd,fi}(t = 90') \geq M_{Ed,fi}(t = 90')$$

$M_{Rd,fi}(t = 90')$ mit vereinfachten
Rechenverfahren des EC 2-1-2:

- ◆ Temperaturabhängige Verkleinerung des Betonquerschnitts
→ a_z mit Formel oder Diagramm
- ◆ Temperaturabhängige Reduktion der Festigkeit von Beton und Betonstahl
→ Reduktionsfaktoren $k_c(\theta)$, $k_s(\theta)$ aus Diagrammen

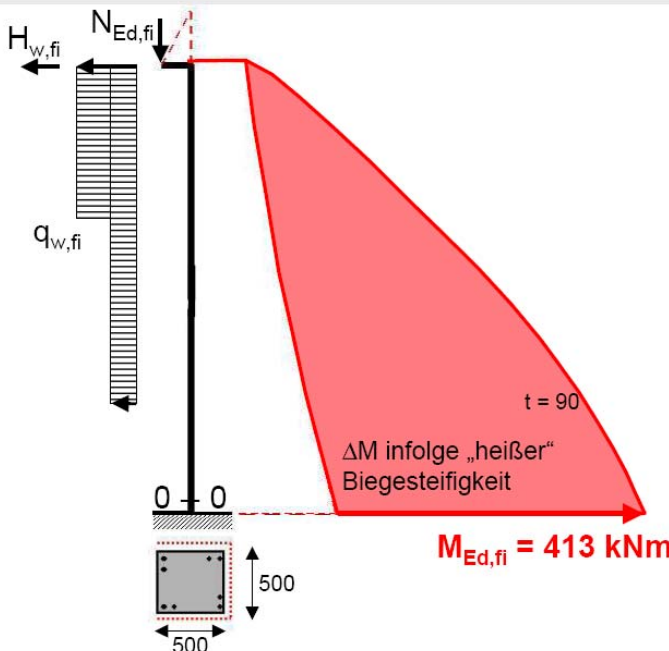


April 2007

iBMB
TU Braunschweig

123

Beispiel 6 : Einwirkungen



Nachweis **im Brandfall**
im Schnitt 0 – 0
für t = 90 Min. Normbrand

$$M_{Rd,fi}(t = 90') = 465 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,fi}(t = 90') = 413 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd,fi}(t = 90') \geq M_{Ed,fi}(t = 90')$$

Die nach DIN 1045-1 be-
messene Kragstütze kann
in die Feuerwiderstands-
klasse R 90 eingestuft
werden.

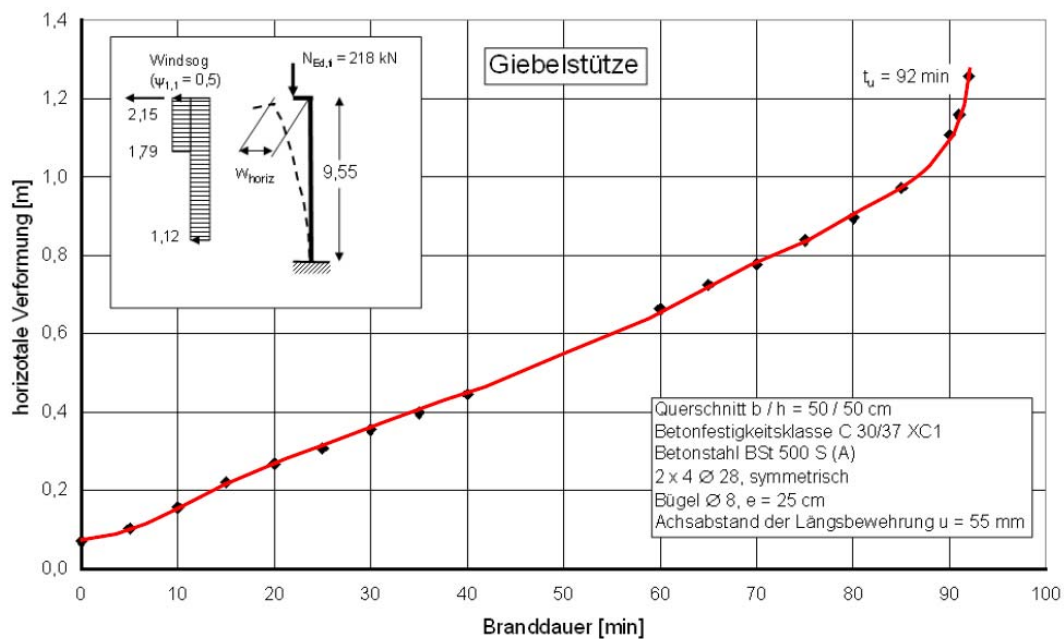


April 2007

iBMB
TU Braunschweig

136

Beispiel 6: horizontale Verformung



April 2007

iBMB
TU Braunschweig

137

Brandschutznachweis Feuerwiderstandsklasse R 90

nach EN 1992-1-2:2004 Anlage B B.2 Zonenmethode Normbrandbeanspruchung
 spezifische Wärme Beton nach 3.2.2, Feuchte 1.5%, konvekt. Wärmeübergangskoeffizient 25 W/m²K
 thermische Leitfähigkeit Beton unterer Grenzwert nach 3.3.3, Emmissionswert der Betonoberfläche 0.7

Temperaturprofil und Materialfestigkeiten, reduzierter Querschnitt

temperaturabhängige Festigkeiten Beton nach Bild 4.1 Betonstahl nach Bild 4.2

Brandangriff allseitig $w = 250 \text{ mm}$ $n = 50$

	i	x mm	Θ_i °C	$k_c(\Theta)$	$f_c(\Theta)$ N/mm ²	i	x mm	Θ_i °C	$k_c(\Theta)$	$f_c(\Theta)$ N/mm ²
unten	1	2.5	931	0.08	2.4	2	7.5	835	0.15	4.6
	3	12.5	748	0.24	7.1	4	17.5	669	0.33	9.9
	5	22.5	598	0.43	12.8	6	27.5	534	0.52	15.7
	7	32.5	476	0.62	18.5	8	37.5	425	0.71	21.2
	9	42.5	379	0.77	23.2	10	47.5	339	0.82	24.5
	11	52.5	303	0.85	25.6	12	57.5	272	0.88	26.5
	13	62.5	244	0.91	27.2	14	67.5	220	0.93	27.8
	15	72.5	198	0.94	28.3	16	77.5	179	0.96	28.7
	17	82.5	161	0.97	29.1	18	87.5	145	0.98	29.4
	19	92.5	129	0.99	29.6	20	97.5	114	1.00	29.9
	21	102.5	<100	1.00	30.0	M	250.0	<100	1.00	30.0

Beton $k_{cm} = 0.88$ $az = 39.0 \text{ mm}$ $h_{x,fi} = 42.2 \text{ cm}$ $h_{y,fi} = 42.2 \text{ cm}$
 $f_{c,M}(\Theta) = 30.0 \text{ N/mm}^2$ $E_{cd,M}(\Theta) = 31900 \text{ N/mm}^2$
 Stahl Randabstand $x = 77.8 \text{ mm diagonal } \Theta = 466 \text{ °C}$
 $k_s(\Theta) = 0.67$ $f_{sy}(\Theta) = 334.3 \text{ N/mm}^2$ $E_s(\Theta) = 130928 \text{ N/mm}^2$

Ersatzlängen, Schlankheiten

die Ersatzlängen werden mit den wirksamen Steifigkeiten und den charakteristischen Normalkräften der Lastfälle gerechnet, bei gestaffelter Bewehrung wird β nach Heft 525 um 10% erhöht
 KN erf. : Knicknachweis erforderlich

LF	Stab	I_{xw} dm ⁴	β_c	l_{ox} m	λ_c	KN erf.	I_{yw} dm ⁴	β_y	l_{oy} m	λ_y	KN erf.
1	unten	6.39	2.0	19.100	156.8	ja	6.39	2.0	19.100	156.8	ja

Bemessung

LEW Leiteinwirkung

Stahlbeton $c 30/37$ **Betonstahl** **BSt 500 S(A)**
 unten Randabstand $d_{lx} = 1.6 \text{ cm}$, $d_{ly} = 1.6 \text{ cm}$ **Kriechbeiwert $\phi =$**

LF	Stab	ort	LEW	M_{Ix} M_{Iix} kNm	M_{Iy} M_{Iiy} kNm	N kN	e_o/h_x $e_{ks}/h(e_a+e_2)/h$	e_o/h_y	ρ %	$A_{s,ges}$ cm ²
1	unten	0.000	12	155.69 400.23	0.00 0.00	-218.00	1.692 0.000	0.000 2.658	1.39	55.69

Die Bewehrung ist biegeorientiert einzulegen, bei Doppelbiegung oder Normalkraft ohne Biegung ist sie punktsymmetrisch auf die Ecken zu verteilen.

Da die Außermitte der Normalkraft nicht angegeben wurde, haben wir die Exzentrizität so gewählt, dass am Fuß ein $M_{ed,fi}$ I. Ordnung von ca. 155 kNm entsteht. Die Stütze wird von Dr. Richter bei dreiseitigem Brandangriff mit einem $A_s = 49.28 \text{ cm}^2$ in Widerstandsklasse R90 eingestuft ($t_u = 92 \text{ min}$).

Unser Programm K.0003 ermittelt für allseitigen Brandangriff $A_s = 55.69 \text{ cm}^2$.

Die Ergebnisse zeigen, dass sowohl Geschossstützen als auch Kragstützen mit dem Programm K.0003 mit sehr guten Ergebnissen für den Brandfall bemessen werden können.

Durch die Festlegung von konservativen Standardparametern wird die Eingabe auf ein Minimum beschränkt, die Rechenzeit wesentlich verkürzt und der Ingenieur von der Beantwortung vieler fachspezifischer Dialogfragen befreit.

Weitere Beispiele werden wir in Kürze auf unserer Internetseite www.vogsys.de veröffentlichen.

Neureichenau, im September 2007



Dipl.-Ing. Dieter Vogelsang