



VP2 - System - Statik Bemessung von Stahlbetonstützen nach DIN EN 1992-1-2:2006 unter Brandbeanspruchung

DIN EN 1992-1-2:2006 [1] steht zwar nicht in der Musterliste der Technischen Baubestimmungen, stellt jedoch die einzige praktische Möglichkeit dar, Stahlbetonstützen unter Brandbeanspruchung rechnerisch nachzuweisen. Die Voruntersuchungen zum NA(DE) der Norm [2] sind abgeschlossen. Die Norm wird wahrscheinlich 2010 zusammen mit dem NA(DE) bauaufsichtlich eingeführt. Sie dient in fast allen brandschutztechnischen Gutachten über Stützen als Grundlage und ist so als „Stand der Technik“ anzusehen.

Deshalb scheint auch ein Mischungsverbot von einer Kaltbemessung nach DIN 1045-1 mit einer Heißbemessung nach [1] zu eng zu sein, solange die Einstufung einer Stütze nicht in Abhängigkeit von Kaltbemessungswerten (z.B. Ausnutzungsgrad) vorgenommen wird.

Verfahren

[1] unterscheidet für die Analyse von Einzelbauteilen grundsätzlich 3 Bemessungsverfahren:

1. tabellarische Einstufung (Level 1)
2. vereinfachte Rechenverfahren (Level 2)
3. allgemeine Rechenverfahren (Level 3)

Die einzelnen Verfahren sind in [3] Kapitel 6 ausführlich beschrieben.

Beim allgemeinen Rechenverfahren wird sehr aufwendig mit Hilfe der FEM in Zeitintervallen ein Stützenquerschnitt unter Brandbeanspruchung untersucht und iterativ der Versagenszeitpunkt bestimmt.

Beim vereinfachten Rechenverfahren kann die thermische Analyse durch Berechnung von Temperaturprofilen bei vorgegebener Branddauer z.B. nach [1] Anhang A und die mechanische Analyse mit Hilfe eines reduzierten Querschnitts und temperaturabhängig abgeminderter Materialkennwerte erfolgen. In [2] wird nur die Zonenmethode nach Anhang B.2 bzw. B.3 empfohlen. Nach dieser Methode wurde im VP2-System-Statik das Programm K.0003 entwickelt.

System und Geometrie

Berechnet werden rechteckige Stahlbetonstützen mit einem oder zwei Abschnitten. Der untere Abschnitt kann an seinem oberen Ende unverschieblich gehalten sein. Der obere Abschnitt ist auskragend. Die Bewehrung wird in den 4 Ecken jeweils resultierend betrachtet, wobei die Lage bei mehreren Stäben den Ort der mittleren Temperatur widerspiegelt. Damit können sowohl unverschieblich gehaltene Geschossstützen als auch Kragstützen mit ein oder zwei Abschnitten erfasst werden.

Einwirkungen und Kombinationen

Die Einwirkungen werden in Lastsituationen zusammengefasst, wobei jede Lastsituation beliebig viele Einwirkungskategorien verarbeiten kann. Es wird davon ausgegangen, dass alle Einwirkungen einer Lastsituation auch gleichzeitig auftreten können. Eine Hallenstütze mit den Einwirkungsgruppen g, q(Kranbahn), s, w(von links) oder w(von rechts) wäre z.B. in 4 Lastsituationen einzuteilen. Alle nach DIN 1055-100 günstigen bzw. ungünstigen Kombinationen werden innerhalb jeder Lastsituation automatisch berechnet und in der Kaltbemessung nach DIN 1045-1 die max. erforderliche Bewehrung ermittelt.

Für die Heißbemessung nach [1] werden ebenfalls alle aussergewöhnlichen Kombinationen jeder Lastsituation automatisch untersucht. Wichtig ist hierbei, dass auch offensichtlich für die Kaltbemessung nicht maßgebende Lastsituationen mit erfasst werden, da z.B. bei einem antimetrischem 3-seitigem Brandangriff einer Außenwandstütze im Gegensatz zur Kaltbemessung die Aussermitte in Richtung der thermischen Krümmung maßgebend werden kann.

Thermische Berechnung

Der Benutzer kann wählen, ob er eine bestimmte Feuerwiderstandsklasse (FWK) erreichen oder das Kaltbemessungsergebnis in eine FWK einstufen will. Die Temperaturprofile werden dann entweder für die gewünschte FWK oder stufenweise für die FWK R30, R60, R90 usw. ermittelt. Hierbei werden die Voraussetzungen der Temperaturprofile aus [1] Anhang A zugrundegelegt, so dass die Ergebnisse leicht geprüft werden können. Entgegen der Mindestanforderung nach [1] von 3 Zonen, wird der Querschnitt in 5 mm breite Zonen eingeteilt, so dass z.B. bei einer Stütze 30/30 cm 30 Zonen betrachtet werden. Die Zonen werden bis zu einer Temperatur von 100° angegeben, da darunter die vollen Materialkennwerte gelten. Bild 1 zeigt das Profil einer solchen Stütze und die mittleren Zonentemperaturen nach K.0003 für die FWK R90.

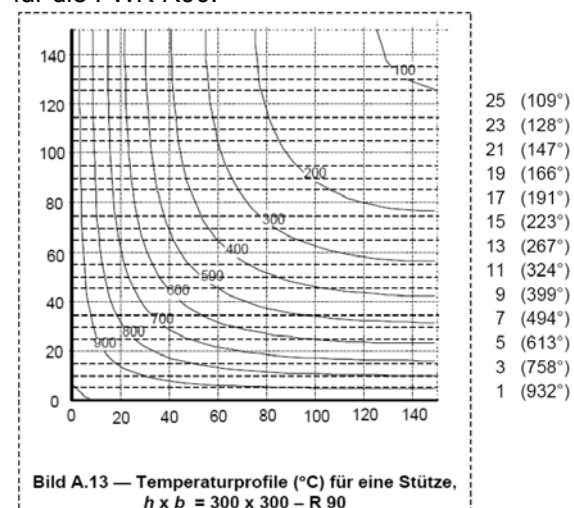


Bild 1 Profil aus EN 1992-1-2 mit K.0003 Ergebnissen



Hieraus werden die Stahltemperaturen und die temperaturabhängigen Materialwerte nach [1] ermittelt. Das Reduktionsmaß a_z wird nach [1] Formel B.13 bestimmt und fällt je nach Seitenverhältnis etwas größer als nach [1] Bild B.5 aus.

Bild 2 zeigt die so mit K.0003 ermittelten Materialwerte und den reduzierten Querschnitt einer Stütze 30/30 cm für die FWK 90.

reduzierter Betonquerschnitt

$$\begin{aligned} k_{cm} &= 0.78 & a_z &= 41.1 \text{ mm} \\ h_{x,fi} &= 21.8 \text{ cm} & h_{y,fi} &= 21.8 \text{ cm} \\ f_{c,M(\theta)} &= 30.0 \text{ N/mm}^2 \\ E_{cd,m(\theta)} &= 19503 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

resultierende Eckbewehrung

Nr	u mm	Θ_m °C	$k_s(\Theta)$	$f_{sy}(\Theta)$ N/mm ²	$E_s(\Theta)$ N/mm ²	$\epsilon_s(\Theta)$
1	70.7 d	532	0.51	257.1	98015	0.727
2	70.7 d	532	0.51	257.1	98015	0.727
3	70.7 d	532	0.51	257.1	98015	0.727
4	70.7 d	532	0.51	257.1	98015	0.727

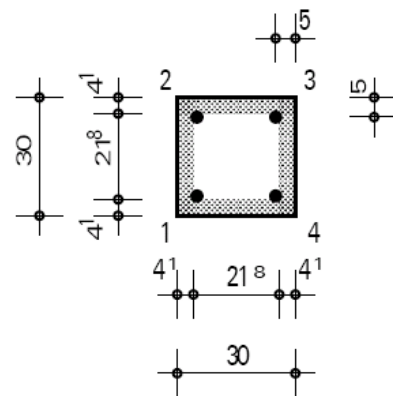


Bild 2 reduzierte Materialwerte und Querschnitt

Mechanische Berechnung

In [1] Anhang B.2 (9) wird „lapidar“ formuliert: „Wenn der reduzierte Querschnitt....., folgt die Berechnung für den Brandfall dem Berechnungsverfahren für Normaltemperatur, ähnlich wie in Bild B.2 dargestellt.“ Dieses Level 2 Verfahren ist also gar nicht exakt beschrieben. Vielleicht rühren daher auch die sehr unterschiedlichen Beurteilungen in verschiedenen Veröffentlichungen.

Es sind, wie die Programmentwicklung gezeigt hat, tatsächlich einige zusätzliche Überlegungen und Rechenannahmen erforderlich.

Bei der Ermittlung der Gesamtaussermitte II. Ordnung wird in K.0003 deshalb wie folgt vorgegangen:

- Es wird nicht mit dem Elastizitätsmodul des Bezugspunktes M nach [1] B.3 sondern mit dem Mittelwert aller Zonen gerechnet.
- Indirekte Einwirkungen werden entgegen den Ausführungen in [4] 2.3 bei verschieblichen Stützen mit angesetzt, da sie gegenüber unverschieblichen Systemen ein völlig anderes Verformungsverhalten aufweisen.
- Nach [1] 2.4.2(4) müssen Wirkungen thermischer Verformungen infolge Temperaturgradienten (nicht gleichförmige thermische Ausdehnung) berücksichtigt werden. Bei antimetrischem Brandangriff (z.B. 3-seitig) werden diese bei verschieblichen Stützen deshalb berechnet und als zusätzliche Aussermitte angesetzt.

- Da das Bauteilalter zum Zeitpunkt des Brandes nicht bekannt ist, wird grundsätzlich die Kriechaussermitte des kalten Vollquerschnitts mit angesetzt.

Mit diesen Annahmen wird die Stütze berechnet und bemessen. Zugrundegelegt werden hierbei die Spannungsdehnungsbeziehungen für Beton nach [1] Bild 3.1 und für Stahl nach [1] Bild 3.3.

Programmvalidierung

Das Programm wurde umfangreich getestet. Hierzu dienten u.a. die Beispiele aus [5] sowie Brandschutzgutachten ausgeführter Stützen aus der Praxis, die in der Regel mit Level 3 Programmen nachgewiesen wurden.

In Tab. 1 sind 4 Beispiele aus [5] und eine Kragstütze mit $l_{col} = 15.60$ m zusammengestellt. Die Beispiele aus [5] sind mit der erw. Tab. 31 nach DIN 4104-22 eingestuft bzw. mit dem Level 3 Programm STABA-F [6] und die Kragstütze mit dem Level 3 Programm SAFIR [7] berechnet worden. Die Ergebnisse zeigen, dass in allen Fällen die in [3] vorgeschlagenen Toleranzen für Eichbeispiele von K.0003 eingehalten werden.

Ausblick

Neben weiteren Validierungen mit dem Level 3 Programm BoFire [8] soll für den Rechteckquerschnitt eine automatische Ermittlung verschiedener eck- oder biegeorientierter Bewehrungsbilder ergänzt werden. Darüber hinaus wird das Verfahren für runde Stützen erweitert. Hierzu sind umfangreiche Vergleiche mit [8] in Vorbereitung und noch durchzuführen.

Fazit

Das Level 2 Verfahren sollte und wird wegen seiner einfachen Handhabung das Regelverfahren der Zukunft in der Baupraxis werden und führt bei ingenieurmäßiger Anwendung sowohl bei unverschieblichen als auch bei verschieblichen Stützen bei der Einzelbauteilanalyse zu guten Ergebnissen. Es ist flexibler, als Bemessungstabellen sein können.



- [1] DIN EN 1992-1-2:2006
- [2] Hosser, D., Richter, E.:
Überführung von EN 1992-1-2 in EN-Norm und
Bestimmung der NDP im NA zu EN 1992-1-2
Az ZP 52-5-7.240-1132/04 iBMB TU BS
- [3] Hosser, D.: Leitfaden Ingenieurmethoden des
Brandschutzes, vfdb Mai 2006
- [4] Hosser, D., Richter, E.:
Rechnerische Nachweise im Brandschutz –
Zukunftsaufgabe für Prüferingenieure
Der Prüferingenieur 10/2007
- [5] richter.pdf iBMB TU BS Fass. 4/2007
- [6] STABA-F Programm iBMB TU BS 1984

- [7] SAFIR Programm der Universität Liège/Belgien
- [8] Schaumann, P./Upmeyer, J.: BoFire
Nichtlineares FE-Simulationsprogramm für stab-
artige Tragwerke im Brandfall, Hannover 2000

Dipl.-Ing. Dieter Vogelsang

Vogelsang
Systemhaus im Bauwesen
Gern 3 94089 Neureichenau
Tel. 08583/96279-0
info@vogsys.de
www.vogsys.de

Bsp.					iBMB TU BS [5]			VP2-System K.0003		
Nr.	Brand- angr.	Art	l_{col} (m)	b/h (cm)	FWK	M_{II} (kNm)	A_s (cm ²)	FWK	M_{II} (kNm)	A_s (cm ²)
1	allseitig	Pendel	4.20	20/20	R 60	-	12.60	R 60	19.10	10.70
3	allseitig	Pendel	2.50	24/24	R 90	-	24.60	R 90	-	27.70
4	allseitig	Kragst.	6.20	45/40	tu=54min	-	25.13	R 60	272.70	27.40
6	3-seitig	Kragst.	9.55	50/50	tu=92min	413.00 t=90min	49.26	R 90	401.90	49.52
					SAFIR			VP2-System K.0003		
13	3-seitig	Kragst.	15.60	50/60	tu=96min	744.70 t=90min	98.50	R 90	725.00	90.80

Tab. 1 Vergleich Eichbeispiele nach [5] und [8] mit K.0003