

**Anpassung der Mindestquerschnitts-  
abmessungen von Stahlbetonstützen  
in Tabelle 31 von DIN 4102-4  
bei Bemessung der Stützen nach  
DIN 1045-1 (07.01)**

**T 3111**

T 3111

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die Originalmanuskripte wurden reprotechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprotechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

Im Originalmanuskript enthaltene Farbvorlagen, wie z.B. Farbfotos, können nur in Grautönen wiedergegeben werden. Liegen dem Fraunhofer IRB Verlag die Originalabbildungen vor, können gegen Berechnung Farbkopien angefertigt werden. Richten Sie Ihre Anfrage bitte an die untenstehende Adresse.

© by Fraunhofer IRB Verlag

2006, ISBN 3-8167-7084-3

Vervielfältigung, auch auszugsweise,  
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

**Fraunhofer IRB Verlag**

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69  
70504 Stuttgart

Nobelstraße 12  
70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00

Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

E-Mail [irb@irb.fraunhofer.de](mailto:irb@irb.fraunhofer.de)

[www.IRBbuch.de](http://www.IRBbuch.de)

## **SCHLUSSBERICHT**

### **Anpassung der Mindestquerschnittsabmessungen von Stahlbetonstützen in Tabelle 31 von DIN 4102-4 bei Bemessung der Stützen nach DIN 1045-1 (07.01)**

Aktenzeichen ZP 52-5-7.260-/05

Im Auftrag des  
Deutschen Instituts für Bautechnik  
Kolonnenstraße 30 L, 10829 Berlin

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dietmar Hosser  
Dr.-Ing. Ekkehard Richter  
Dipl.-Ing. M. Theune

Dezember 2005

**Inhaltsverzeichnis**

<b>1</b>	<b>Vorbemerkung</b> .....	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Brandschutztechnische Stützenbemessung</b> .....	<b>4</b>
2.1	DIN 4102 Teil 4 .....	4
2.2	DIBT-Richtlinie .....	5
2.3	DIN 4102 Teil 22 .....	8
2.3.1	Allgemeines .....	8
2.3.2	Faktor $\alpha^*$ .....	11
<b>3</b>	<b>Stützenbemessung nach DIN 1045-1</b> .....	<b>14</b>
3.1	Allgemeines .....	14
3.2	Bemessungswert des Bauteilwiderstandes $N_{Rd}$ .....	15
<b>4</b>	<b>Rechengrundlagen für den brandschutztechnischen Nachweis</b> .....	<b>18</b>
4.1	Programmgesteuerte Berechnung .....	18
4.2	Thermische Analyse zur Berechnung der Bauteilerwärmung .....	19
4.3	Mechanische Analyse zur Berechnung des Trag- und Verformungsverhaltens .....	20
<b>5</b>	<b>Parameterstudie</b> .....	<b>22</b>
5.1	Allgemeines .....	22
5.2	Auswirkung der Stützenlänge .....	24
5.3	Auswirkung des Achsabstandes .....	25
5.4	Auswirkung der Bewehrungsmenge .....	25
5.5	Auswirkung der Betonfestigkeit .....	26
5.6	Auswirkung der Lastausmitte .....	27
5.7	Zusammenfassung .....	28
<b>6</b>	<b>Tabellierte Stützenquerschnitte</b> .....	<b>29</b>
6.1	Grundlagen .....	29
6.2	Mindestachsabstand .....	29
6.3	Mindestquerschnittsbreite .....	30
6.4	Bemessungstabelle für Stahlbetonstützen .....	32
6.5	Interpolation .....	33
<b>7</b>	<b>Vergleich</b> .....	<b>35</b>
7.1	Vorbemerkung .....	35
7.2	prEN 1992-1-2 .....	35
7.2.1	Methode A: Tabelle 5.2a .....	35
7.2.2	Methode A: Gleichung (5.6) .....	40
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>43</b>
<b>9</b>	<b>Literatur</b> .....	<b>44</b>
<b>Anhang</b>	.....	<b>46</b>

## 1 VORBEMERKUNG

Im Sommer 2001 wurde die neue DIN 1045-1:2001-07 bauaufsichtlich eingeführt. Sie konnte bis Mitte 2004 alternativ zur alten DIN 1045:1988-07 für die Bemessung von Stahlbeton- und Spannbetonbauteilen benutzt werden. Nach Ablauf der Übergangsfrist wurde die „alte“ DIN 1045 aus der Bauregelliste gestrichen und seitdem muss die Bemessung von Stahlbeton- und Spannbetonbauteilen ausschließlich nach DIN 1045-1:2001-07 durchgeführt werden. Die brandschutztechnische Bemessung muss nach der „DIBt-Richtlinie zur Anwendung von DIN V ENV 1992-1-2 in Verbindung mit DIN 1045-1“ und ab Ende 2005 nach DIN 4102 Teil 4 und Teil 22 ausgeführt werden. DIN 4102 Teil 22 liegt als Ausgabe November 2004 vor und wurde in die Musterliste der Technischen Baubestimmungen, Fassung Februar 2005, aufgenommen.

In der DIBt-Richtlinie und in DIN 4102-22 wurden als Mindestquerschnittsabmessungen die Tabellenwerte aus DIN 4102-4, Tab. 31 übernommen, die für die zulässige Beanspruchung nach DIN 1045:1988-07 ermittelt wurden. Die höhere Belastung nach DIN 1045-1:2001-07 im Vergleich zur DIN 1045:1988-07 wird in der DIBt-Richtlinie durch eine Begrenzung des Lastausnutzungsfaktors auf  $\mu_{fi} \leq 0,4$  und in DIN 4102-22 durch eine Vergrößerung der vorhandenen Belastung um den Faktor  $\alpha^* \leq 2,0$  berücksichtigt. Dieses Vorgehen erlaubt die weitere Anwendung der Bemessungstabelle für Stützen aus der DIN 4102-4, gleichzeitig wird damit aber für viele Stützen der brandschutztechnische Nachweis bemessungsrelevant, wodurch die höhere Tragfähigkeit nach DIN 1045-1:2001-07 im Vergleich zu DIN 1045:1988-07 nicht ausgenutzt werden kann.

In der Baupraxis wird für die Bemessung von Stahlbetonstützen nach DIN 1045-1:2001-07 häufig der tabellierte Mindestquerschnitt nach DIBt-Richtlinie oder DIN 4102-4 zugrunde gelegt und im Nachlauf die Ausnutzung kontrolliert. Dabei stellt sich dann heraus, dass durch die Begrenzung des Ausnutzungsfaktors auf  $\mu_{fi} \leq 0,4$  (DIBt-Richtlinie) oder die Vergrößerung der vorhandenen Belastung um den Faktor  $\alpha^* \leq 2,0$  (DIN 4102-22) die zulässige Ausnutzung überschritten wurde. Die Folge ist eine zeit- und kostenaufwändige Neubemessung der Stahlbetonstützen mit größerem Querschnitt oder für eine um bis zu 20% größeren Belastung.

Im Forschungsvorhaben sollen die Mindestquerschnittsabmessungen für Stahlbetonstützen in Tabelle 31 von DIN 4102-4 auf die größeren Querschnitte und höheren Lasten, die nach dem Bemessungskonzept der neuen DIN 1045-1:2001-07 gegenüber dem der alten DIN 1045:1988-07 möglich sind, angepasst werden. Dafür sind hauchbautypische Stahlbetonstützen für die Gebrauchslastfälle und für den Brandschutz zu bemessen. Die brandschutz-

technische Bemessung soll mit einem am Institut eingesetztem Computerprogramm durchgeführt werden.

Im Weiteren wird DIN 1045-1:2001-07 kurz als „DIN 1045-1“ und DIN 1045:1988-07 als „DIN 1045“ bezeichnet.

## 2 BRANDSCHUTZTECHNISCHE STÜTZENBEMESSUNG

### 2.1 DIN 4102 Teil 4

In DIN 4102 Teil 4 [1], Abschnitt 3.13 wird die brandschutztechnische Bemessung von Stahlbetonstützen aus Normalbeton (B 15 bis B 55) geregelt. Die brandschutztechnische Bemessung von Stützen aus hochfestem Beton (bis C 100 / 115) erfolgt nach DIN 4102-4/A1. Tabelle 31 (Bild 2.1) enthält für die Feuerwiderstandsklassen F 30, F 60, F 90, F 120 und F 180 Mindestdicken und Mindestachsabstände in Abhängigkeit vom Ausnutzungsfaktor  $\alpha_1 = 0,3$ ,  $\alpha_1 = 0,7$  und  $\alpha_1 = 1,0$ . Der Ausnutzungsfaktor  $\alpha_1$  wird als Verhältnis der vorhandenen Beanspruchung zu der zulässigen Beanspruchung ( $1/\gamma$ -fache rechnerische Bruchlast) nach DIN 1045 [2] bezeichnet.

Für die Anwendung der Tabelle 31 müssen folgende konstruktive Bedingungen (Nummerierung nach DIN 4102-4) erfüllt sein:

- 3.13.2.2 Bei planmäßig ausmittiger Beanspruchung ist für die Ermittlung von  $\alpha_1$  von einer konstanten Ausmitte auszugehen.
- 3.13.2.3 Die Knicklänge im Brandfall ist nach DIN 1045:1988-07, Abschnitt 17.4.2 zu bestimmen.
- 3.13.2.4 Tabelle 31 ist bei ausgesteiften Gebäuden anwendbar, sofern die Stützenenden, wie in der Praxis üblich, rotationsbehindert gelagert sind.  
  
Läuft eine Stütze über mehrere Geschosse durch, so gilt der entsprechende Endquerschnitt im Brandfall ebenfalls als an seiner Rotation wirksam gehindert.  
  
Tabelle 31 darf nicht angewendet werden, wenn die Stützenenden konstruktiv als Gelenk (z. B. Auflagerung auf einer Zentrierleiste) ausgebildet sind.
- 3.13.2.5 Die Knicklänge der Stütze zur Bestimmung der zulässigen Beanspruchung nach Abschnitt 3.13.2.2 entspricht der Knicklänge bei Raumtemperatur, jedoch ist sie mindestens so groß wie die Stützenlänge zwischen den Auflagerpunkten (Geschosshöhe)

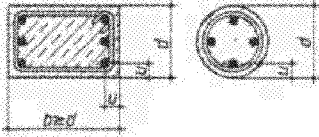
Zeile	Konstruktionsmerkmale <sup>1)</sup> 	Feuerwiderstandsklasse-Benennung				
		F 30-A	F 60-A	F 90-A	F 120-A	F 180-A
1	<b>Mindestquerschnittsabmessungen unbekleideter Stahlbetonstützen bei mehrseitiger Brandbeanspruchung bei einem</b>					
1.1	Ausnutzungsfaktor $\alpha_1 = 0,3$					
1.1.1	Mindestdicke $d$ in mm	150	150	180	200	240
1.1.2	zugehöriger Mindestachsabstand $u$ in mm	?)	?)	?)	40	50
1.2	Ausnutzungsfaktor $\alpha_1 = 0,7$					
1.2.1	Mindestdicke $d$ in mm	150	180	210	250	320
1.2.2	zugehöriger Mindestachsabstand $u$ in mm	?)	?)	?)	40	50
1.3	Ausnutzungsfaktor $\alpha_1 = 1,0$					
1.3.1	Mindestdicke $d$ in mm	150	200	240	280	360
1.3.2	zugehöriger Mindestachsabstand $u$ in mm	?)	?)	?)	40	50
2	<b>Mindestquerschnittsabmessungen unbekleideter Stahlbetonstützen bei 1seitiger Brandbeanspruchung</b>					
2.1	Mindestdicke $d$ in mm	100	120	140	160	200
2.2	zugehöriger Mindestachsabstand $u$ in mm	?)	?)	?)	45	60
3	<b>Mindestquerschnittsabmessungen von Stahlbetonstützen mit einer Putzbekleidung nach Abschnitt 3.13.2.9</b>					
3.1	Mindestdicke $d$ in mm	140	140	160	220	320
3.2	Mindestachsabstand	?)	?)	?)	?)	?)
<sup>1)</sup> Mindestabmessungen für umschnürte Druckglieder, soweit in der Tabelle keine höheren Werte angegeben sind: F 30 $d = 240$ mm F 60 bis F 180 $d = 300$ mm. <sup>2)</sup> Bezüglich $c$ : Mindestwerte nach DIN 1045						

Bild 2.1 Tabelle 31 aus DIN 4102-4 zur brandschutztechnischen Bemessung von Stahlbetonstützen aus Normalbeton

## 2.2 DIBT-Richtlinie

Für die brandschutztechnische Bemessung von Stahlbeton- und Spannbetonbauteilen ergab sich aus der bauaufsichtlichen Einführung des neuen Normenwerks im Betonbau DIN 1045-1, Ausgabedatum Juli 2001 [3] sowie der gleichzeitigen Streichung der ENV-Fassung des Eurocodes 2 aus der Liste der Technischen Baubestimmungen die Notwendigkeit, kurzfristig eine Übergangsregelung zu erstellen, um die brandschutztechnische Bemessung nach DIN 4102-4 [1] und die Bemessung für die Gebrauchslastfälle nach der neuen DIN 1045-1 [3] aufeinander abzustimmen [4]. Der Zeitaufwand zur Anpassung von DIN 4102-4 an DIN 1045-1 hätte die bauaufsichtliche Einführung von DIN 1045-1 im Juli 2001 gefährdet. Es wurde deshalb nach einer Übergangslösung gesucht, die kurzfristig eine brandschutztechnische Bemessung für Bauteile erlaubt, die nach DIN 1045-1 bemessen werden. Dafür bot

sich der Brandschutzteil des Eurocodes 2, die DIN V ENV 1992-1-2 [5] in Verbindung mit dem Nationalen Anwendungsdokument (NAD) [6], an. Diese Lösung bot zwei Vorteile: erstens war DIN V ENV 1992-1-2 weiterhin baurechtlich eingeführt, da sie nicht aus der Liste der Technischen Baubestimmungen sowie der Bauregelliste A Teil 1 gestrichen wurde und zweitens basiert das Sicherheitskonzept der Grundnorm auf Teilsicherheitsbeiwerten und stimmt damit weitgehend mit dem Sicherheitskonzept der DIN 1045-1 überein. Gelöst werden musste jetzt noch das Problem, dass die Anwendung von DIN V ENV 1992-1-2 über das Nationale Anwendungsdokument nur im Zusammenhang mit der entsprechenden Grundnorm zulässig ist. Hier bot sich als Lösung an, das Nationale Anwendungsdokument in Form einer „DIBt-Richtlinie zur Anwendung von DIN V ENV 1992-1-2 in Verbindung mit DIN 1045-1“ [7] zu überarbeiten und diese DIBt-Richtlinie zusammen mit DIN 1045-1 bauaufsichtlich einzuführen.

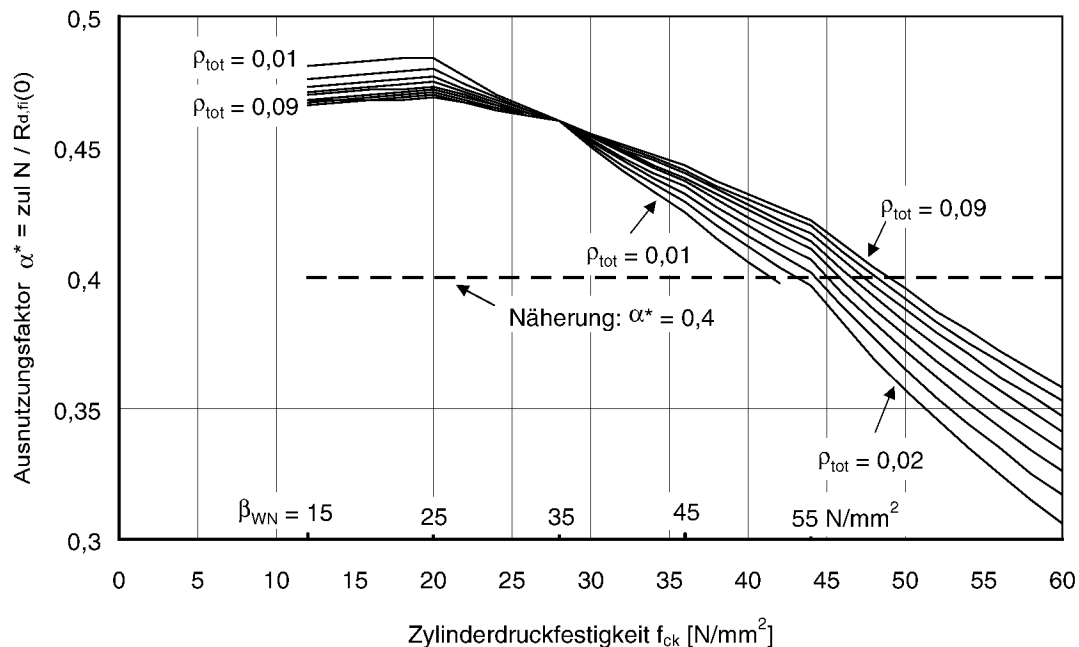
Für die Übergangszeit bis zur bauaufsichtlichen Einführung der DIN 4102-22 [1] gilt folgende Regelung: erfolgt die Bemessung für die Gebrauchslastfälle nach DIN 1045-1, dann gelten für die brandschutztechnische Bemessung die Regeln der DIBt-Richtlinie.

Inhaltlich wurde in der DIBt-Richtlinie der Anwendungsbereich von DIN V ENV 1992-1-2 auf die brandschutztechnische Bemessung mit Tabellen beschränkt; die Bemessung mit vereinfachten und allgemeinen Rechenverfahren wurde ausgeschlossen.

In der Vorbemerkung der DIBt-Richtlinie wird ihr Geltungsbereich für Normal- und Leichtbeton bis zur Festigkeitsklasse C 60/75 bzw. LC 50/55 definiert. Damit werden die Anwendungsgrenzen gegenüber DIN V ENV 1992-1-2 in Verbindung mit dem Nationalen Anwendungsdokument (NAD), in denen die Anwendung bis zur Festigkeitsklasse C 50/60 begrenzt wurde, erweitert. Die Tabellenwerte in DIN V ENV 1992-1-2 wurden im wesentlichen aus DIN 4102-4 übernommen, wo sie durch Brandversuche und theoretische Untersuchungen abgesichert waren. Für die Brandversuche wurde die zulässige Beanspruchung nach DIN 1045 [2] mit dem Rechenwert der Betondruckfestigkeit  $\beta_R$  ermittelt, der relativ zur Würfelfestigkeit  $\beta_W$  für die Betonfestigkeitsklassen B 35 bis B 55 zunehmend um bis zu 22 % gegenüber den Betonfestigkeitsklassen bis B 25 abzumindern war. Im Gegensatz dazu wird der Bemessungswert der Betondruckfestigkeit  $f_{cd} = \alpha \cdot f_{ck} / \gamma_c$  für alle Betonfestigkeitsklassen bis C 50/60 mit  $\gamma_c = 1,5$  einheitlich, und für C 55/67 und C 60/75 mit  $\gamma_c = 1,52$  bzw. 1,53 festgelegt. Entsprechend ergeben sich nach DIN 1045-1 für höhere Betonfestigkeitsklassen größere Querschnittstragfähigkeiten im Vergleich zu DIN 1045 [2] bzw. wird die im Brandfall vorhandene Belastung bei der Bemessung nach DIN 1045-1 [3] größer als bei der Bemessung nach DIN 1045.



Im Nationalen Anwendungsdokument wurde die Vergrößerung der Belastung für Stützen und Wände durch Begrenzung des Lastausnutzungsfaktors  $\mu_{fi} = E_{d,fi} / R_{d,fi}(0) \leq 0,4$  berücksichtigt [8]. Aus Bild 2.2 wird ersichtlich, dass diese Regelung für Betonfestigkeitsklassen bis C 50/60 und hohe Bewehrungsgrade auf der sicheren Seite, für Betonfestigkeitsklassen größer als C 50/60 und geringe Bewehrungsgrade aber in zunehmendem Maß auf der unsicheren Seite liegt. Für die Betonfestigkeitsklasse C 60/75 und einen Bewehrungsgrad  $\rho = 0,02$  wird im Fall einer mittig belasteten Stütze, die bei entsprechend kleiner Schlankheit ohne Berücksichtigung der im Grenzzustand der Tragfähigkeit auftretenden Tragwerks- oder Bauteilverformungen bemessen werden darf, die zulässige Beanspruchung um ca. 30 % zu hoch ermittelt.



**Bild 2.2** Vergleich der zulässigen mittleren Beanspruchung  $\text{zul } N$  nach DIN 1045 und des Bemessungswertes der Tragfähigkeit  $R_{d,fi}(0)$  nach DIN V ENV 1992-1-2

Um die Gefahr auszuschließen, dass bei der brandschutztechnischen Bemessung die Tragfähigkeit von Stützen mit Beton der Festigkeitsklasse größer als 50/60 überschätzt wird, empfehlen die Autoren in [4], für diese Stützen mit einem Lastausnutzungsfaktor  $\mu_{fi} = E_{d,fi} / R_{d,fi}(0) \leq \alpha^*$  zu rechnen, mit  $\alpha^*$  aus Bild 2.2. In Tabelle 4.1 von DIN V ENV 1992-1-2 muss dann gesetzt werden:

in Spalte 2  $\mu_{fi} = 0,3 \cdot \alpha^*$ ,

in Spalte 3  $\mu_{fi} = 0,7 \cdot \alpha^*$

in Spalte 4 und 5  $\mu_{fi} = \alpha^*$ .

Durch Bild 2.2 wird deutlich, dass die Begrenzung des Lastausnutzungsfaktors  $\mu_{fi} \leq 0,4$  bzw.  $\mu_{fi} \leq \alpha^*$  für alle Betonfestigkeitsklassen und Bewehrungsgehalte gilt. Damit entfällt die in der DIBt-Richtlinie, Abschnitt 4.2.3 enthaltene Tabelle mit Angaben zum maximalen Bewehrungsgehalt in Abhängigkeit von der Betonfestigkeitsklasse.

## 2.3 DIN 4102 Teil 22

### 2.3.1 Allgemeines

Aufgrund der zu erwartenden langen Übergangsfrist bis zur bauaufsichtlichen Einführung der Eurocodes in Form von EN-Normen und dem damit verbundenen Zurückziehen entsprechender nationaler Normen, ist zu erwarten, dass DIN 4102-4 noch für einige Jahre Gültigkeit haben wird. Dieser Zeitrahmen veranlasste den NABau-Normenausschuss „Konstruktiver baulicher Brandschutz“ mit Arbeiten an DIN 4102 Teil 22 [1] zu beginnen. Damit werden zwei Ziele verfolgt: erstens soll die Anwendbarkeit von DIN 4102-4 in Verbindung mit neuen nationalen Bemessungsnormen sichergestellt werden und zweitens soll eine umfassende Fehlerkorrektur im Text der bestehenden DIN 4102-4 durchgeführt werden. Aus dieser Zielsetzung wird deutlich, dass mit DIN 4102 Teil 22 keine Neuauflage von DIN 4102-4 mit neuen Bemessungstabellen oder neuen nachgewiesenen Detailkonstruktionen geschaffen werden sollte, sondern lediglich Berichtigungen vorgenommen und Hinweise auf veränderte „kalte“ Bemessungsnormen erstellt werden sollten.

In DIN 4102 Teil 22, Abschnitt 3.13 wird die Feuerwiderstandsklasse von Stahlbetonstützen festgelegt, die bei Raumtemperatur nach DIN 1045-1 bemessen wurden. Für die Bemessungstabellen von Stützen und tragenden Wänden wird der Ausnutzungsfaktor  $\alpha_1$  an die Grundlagen der DIN 1045-1 und an die Definition des Ausnutzungsfaktors in prEN 1992-1-2 [9] angepasst. In Übereinstimmung mit den Baustoffen Stahl, Verbund, Holz und Mauerwerk wird der Ausnutzungsfaktor  $\alpha_1$  als Verhältnis des Bemessungswertes der vorhandenen Längskraft im Brandfall  $N_{Ed,fi}$  und des Bemessungswertes der Tragfähigkeit  $N_{Rd}$  nach DIN 1045-1, multipliziert mit  $\alpha^*$  festgesetzt (Gl. (2.1)).

$$\alpha_1 = N_{Ed,fi} / N_{Rd} \cdot \alpha^* \quad (2.1)$$

Die beiden Werte  $N_{Ed,fi}$  und  $N_{Rd}$  ergeben sich aus den Bemessungsgrößen für Normaltemperatur. Der Bemessungswert der Tragfähigkeit  $N_{Rd}$  kann näherungsweise aus dem Bemessungswert der Einwirkungen im Grenzzustand der Tragfähigkeit  $N_{Ed}$  ermittelt werden (Gl. (2.2))

$$N_{Rd} \approx N_{Ed} \quad (2.2)$$

und der Bemessungswert der vorhandenen Längskraft im Brandfall  $N_{Ed,fi}$  wird nach DIN 4102-22, Gl. (1) (hier Gl. (2.3)) durch Anwendung der Kombinationsregel für die außergewöhnliche Bemessungssituation ermittelt:

$$E_{dA} = E\left\{\sum_{j \geq 1} \gamma_{GA,j} \cdot G_{k,j} \oplus \gamma_{PA} \cdot P_k \oplus A_d \oplus \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} \oplus \sum_{i > 1} \psi_{2,i} \cdot q_{k,i}\right\} \quad (2.3)$$

Bei nur einer vorherrschenden unabhängigen veränderlichen Einwirkung und mit  $A_d = 0$ , da thermisch bedingte Zwängungen in der Regel bei Normbranduntersuchungen nicht berücksichtigt werden, lässt sich Gleichung (2.3) vereinfachend entsprechend Gleichung (2.4) schreiben:

$$E_{dA} = E\{\gamma_{GA} \cdot G_k + \psi_{1,1} \cdot Q_k\} \quad (2.4)$$

mit  $\gamma_{GA}$  Teilsicherheitsbeiwert einer unabhängigen ständigen Einwirkung für die außergewöhnliche Bemessungssituation  
 $G_k$  unabhängigen ständigen Einwirkung  
 $\psi_{1,1}$  Kombinationsbeiwert zur Bestimmung repräsentativer Werte veränderlicher Einwirkungen  
 $Q_k$  vorherrschende veränderliche Einwirkung

Als Vereinfachung dürfen die Einwirkungen während der Brandbeanspruchung direkt aus den Einwirkungen bei Normaltemperatur nach Gl. (2.5) ermittelt werden:

$$N_{Ed,fi} = \eta_{fi} \cdot N_{Ed} \quad (2.5)$$

$$\text{mit } \eta_{fi} = \frac{\gamma_{GA} + \psi_{1,1} \cdot \xi}{\gamma_G + \gamma_Q \cdot \xi} \quad (2.6)$$

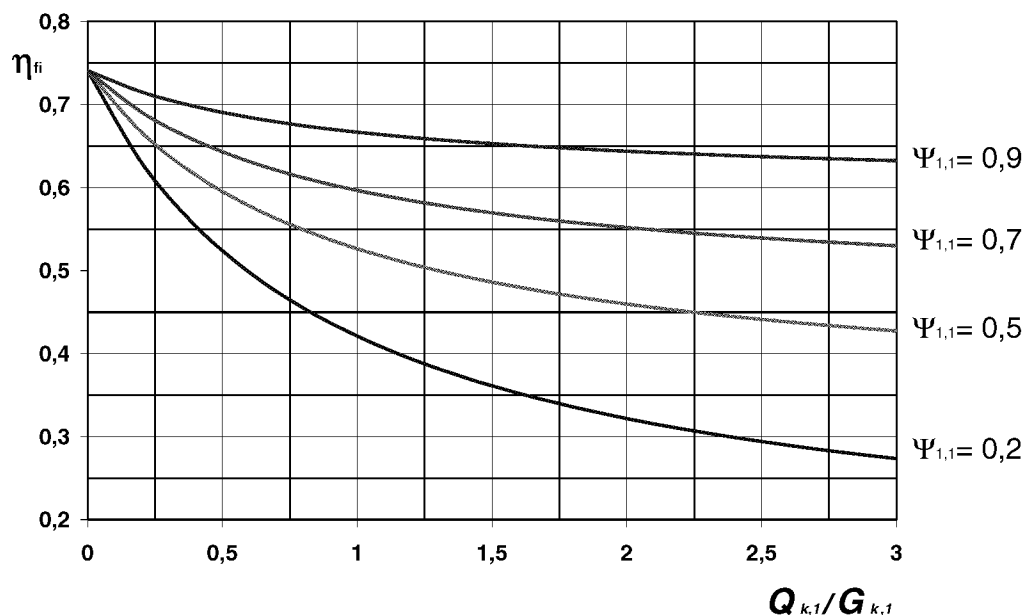
Reduktionsfaktor, abhängig vom Verhältnis des Hauptwertes der veränderlichen Einwirkungen zur ständigen Einwirkung  $\xi = Q_{k,1}/G_k$ .

Bild 2.3 zeigt die Auswertung von Gl. (2.6) mit Teilsicherheitsbeiwerten  $\gamma_G = 1,35$  und  $\gamma_Q = 1,5$  für verschiedene Kombinationsbeiwerte  $\psi_{1,1}$  aus Tabelle 2.1.

Ohne genauen Nachweis darf für Stahlbetonbauteile der Reduktionsfaktor  $\eta_{fi} = 0,7$  gesetzt werden.

Tabelle 2.1 Kombinationswerte für veränderliche Einwirkungen [10]

Einwirkungen	Kombinationsbeiwert		
	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
Verkehrslast auf Decken			
Wohnräume; Büroräume, Verkaufsräume bis 50 m <sup>2</sup> ; Flure; Balkone; Räume in Krankenhäusern	0,7	0,5	0,3
Versammlungsräume; Garagen und Parkhäuser; Turnhallen; Tribünen; Flure in Lehrgebäuden; Büchereien; Archive	0,8	0,8	0,5
Ausstellungs- und Verkaufsräume; Geschäfts- und Warenhäuser	0,8	0,8	0,8
Windlasten	0,6	0,5	0
Schneelasten	0,7	0,2	0
Andere Einwirkungen	0,8	0,7	0,5

Bild 2.3 Reduktionsfaktor  $\eta_{fi}$  in Abhängigkeit vom Verhältnis zwischen ständiger und dominierender veränderlicher Einwirkung ( $\gamma_G = 1,35$  und  $\gamma_Q = 1,5$ )

Die Mindestdicken und Mindestachsabstände in DIN 4102-4 Tabelle 31 zur brandschutztechnischen Bemessung von Stahlbetonstützen wurden durch Brandversuche ermittelt und

durch theoretische Untersuchungen [11] abgesichert. Für die Brandversuche und für die theoretischen Untersuchungen wurde die zulässige Beanspruchung nach DIN 1045 ermittelt. Nach DIN 1045-1 ergeben sich für höhere Betonfestigkeitsklassen größere Querschnittstragfähigkeiten im Vergleich zu DIN 1045 bzw. wird die im Brandfall vorhandene Belastung bei der Bemessung nach DIN 1045-1 größer als bei der Bemessung nach DIN 1045.

In der Anwendungsnorm DIN 4102 Teil 22 wurde die Vergrößerung der Belastung für Stützen und Wände durch den Faktor  $\alpha^*$  berücksichtigt. Durch den Faktor  $\alpha^*$  wird die Bemessung der Stützen nach DIN 1045-1 auf eine Bemessung nach der alten DIN 1045 zurückgeführt. Der Vorteil der höheren Belastung bei Bemessung nach DIN 1045-1 geht dadurch verloren bzw. erfordert die höhere Belastung soviel Bewehrung, wie sie nach DIN 1045 erforderlich wäre.

### 2.3.2 Faktor $\alpha^*$

Der Faktor  $\alpha^*$  wurde für mittig belastete Stützen, die bei entsprechend kleiner Schlankheit ohne Berücksichtigung der im Grenzzustand der Tragfähigkeit auftretenden Bauteilverformungen bemessen werden dürfen, abgeleitet.

Gl. (2.7) zeigt den Lastausnutzungsfaktor  $\alpha_1$  nach DIN 4102-4

$$\alpha_1 = \frac{\text{vorh}N}{\text{zul}N} \quad (2.7)$$

und Gl. (2.8) den Lastausnutzungsfaktor  $\alpha_1$  nach DIN 4102-22

$$\alpha_1 = \frac{N_{Ed,fi}}{N_{Rd}} \cdot \alpha^* \quad (2.8)$$

$$\alpha^* = \frac{N_{Rd}}{\text{zul}N} \cdot \frac{\text{vorh}N}{N_{Ed,fi}}$$

$$\alpha^* = \alpha_1^* \cdot \alpha_2^* \quad (2.9)$$

mit

$$\alpha_1^* = \frac{N_{Rd}}{\text{zul}N} = \frac{(1-\rho) \cdot f_{cd} + \rho \cdot f_{yd}}{1/2,1 \cdot ((1-\rho) \cdot \beta_R + \rho \cdot \beta_S)} \quad (2.10)$$

und dem globalen Sicherheitsbeiwert  $\gamma^*$  sowie dem charakteristischen Wert der Einwirkungen  $E_k$

$$\gamma^* = \frac{1}{E_k} \cdot (\gamma_G \cdot G_k + \gamma_Q \cdot Q_k) = \frac{G_k}{E_k} \cdot (\gamma_G + \xi \cdot \gamma_Q) = \frac{1}{1,0 + \xi} \cdot (\gamma_G + \xi \cdot \gamma_Q)$$

$$\eta_{fi} = \frac{1,0 + \psi_{1,1} \cdot \xi}{\gamma_G + \gamma_Q \cdot \xi}$$

wird

$$\alpha_2^* = \frac{vorhN}{N_{Ed,fi}} = \frac{E_k}{\eta_{fi} \cdot \gamma^* \cdot E_k} = \frac{1}{\eta_{fi} \cdot \gamma^*}$$

$$\alpha_2^* = \frac{1,0 + \xi}{1,0 + \psi_{1,1} \cdot \xi} \quad (2.11)$$

Im Bild 2.4 ist der Verlauf von  $\alpha_1^*$  für unterschiedliche Bewehrungsgrade  $\rho$  über der Zylinderdruckfestigkeit  $f_{ck}$  dargestellt, dabei wurde für die Ermittlung von  $\alpha_1^*$  die Zuordnung der Festigkeitsklassen zwischen DIN 1045 und DIN 1045-1 nach Tabelle 2.2 [12] vorgenommen.

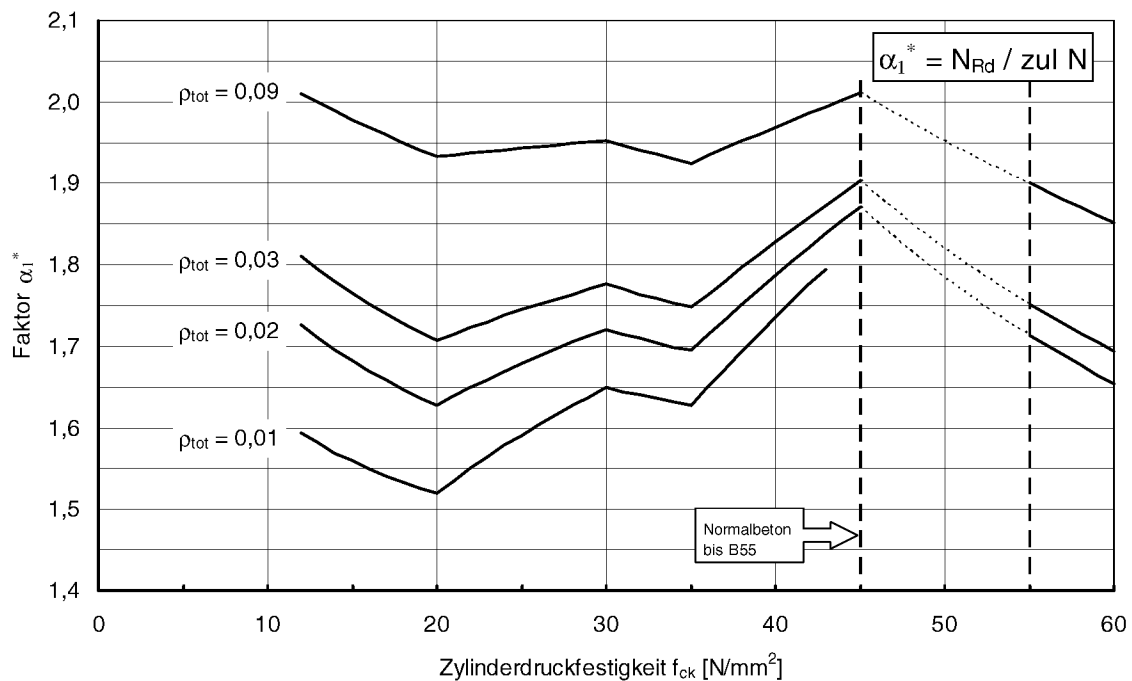


Bild 2.4 Faktor  $\alpha_1^*$

Im Bild 2.5 ist der Verlauf von  $\alpha_2^*$  für unterschiedliche  $\psi_{1,1}$ -Werte über dem Verhältnis der Belastung  $\xi = Q_k/G_k$  dargestellt. Der dunkel markierte Bereich in Bild 2.5 gilt für hochbautypische Anwendungen, danach kann näherungsweise  $\alpha_2^* \approx 1,0$  gesetzt werden.

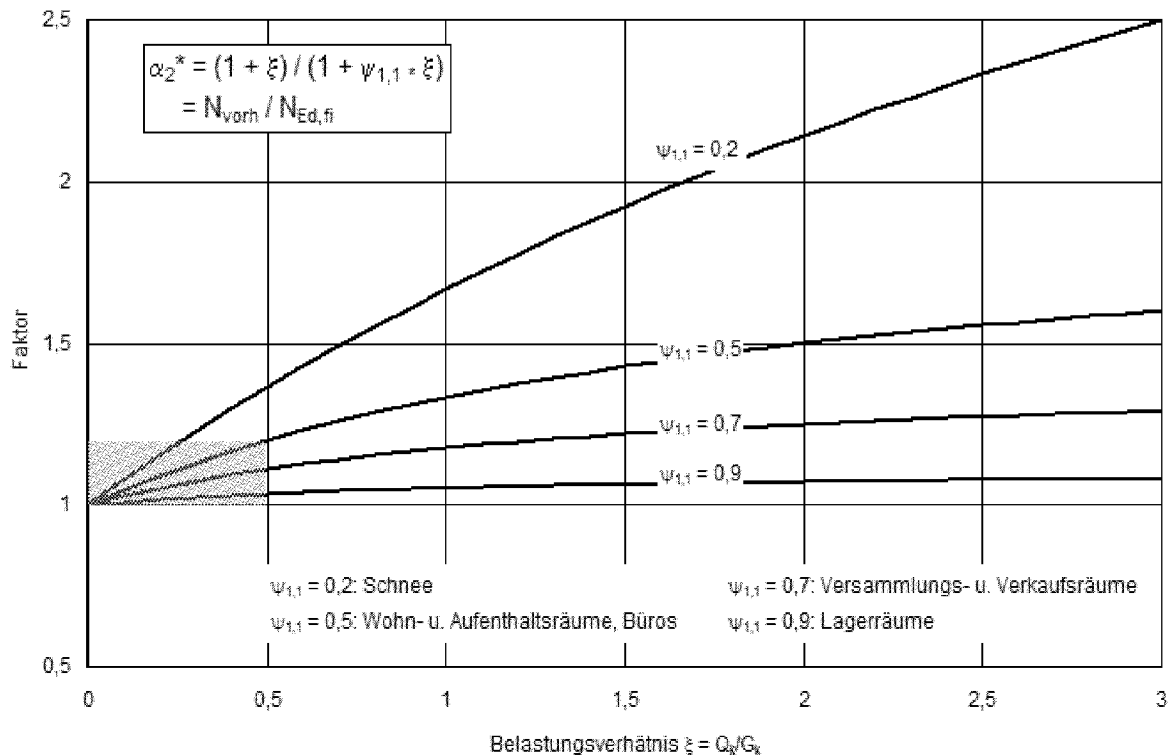


Bild 2.5 Faktor  $\alpha_2^*$

Tabelle 2.2 Zuordnung der Festigkeitsklassen von altem und neuen Normenwerk DIN 1045 (aus [12])

B	15	25	35	45	55	65
C	12/15	20/25	30/37	35/45	45/55	55/67
$\beta_{WN}$	15	25	35	45	55	65
$\beta_R$	10,5	17,5	23	27	30	40
$f_{ck}$	12	20	30	35	45	55

In Verbindung mit  $\alpha_2^* \approx 1,0$  und  $\alpha^* \approx \alpha_1^*$  wird der Lastausnutzungsfaktor für Stützen, die nach DIN 1045-1 bemessen wurden, nach Gl. (2.12)

$$\alpha_1 = \frac{N_{\text{Ed,fi}}}{N_{\text{Rd}}} \cdot \alpha^* \quad (2.12)$$

Für die brandschutztechnische Bemessung kann der Faktor  $\alpha^*$  aus Bild 2.6 in Abhängigkeit der Zylinderdruckfestigkeit  $f_{ck}$  und des Bewehrungsgrads  $\rho_{tot}$  der Stütze entnommen oder vereinfachend zu 2,0 gesetzt werden.

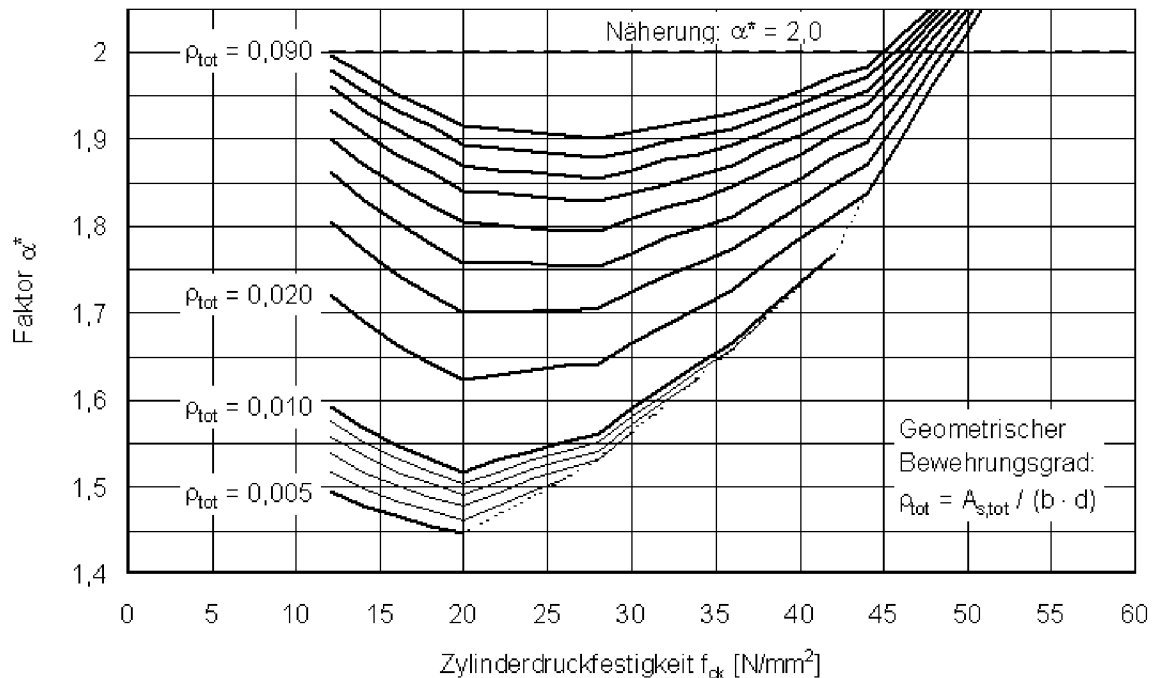


Bild 2.6 Faktor  $\alpha^*$  in Abhängigkeit der Zylinderdruckfestigkeit  $f_{ck}$  und des geometrischen Bewehrungsgrads  $\rho_{tot}$

Für Querschnittsabmessungen, die größer als die Mindestabmessungen in Tabelle 31 der DIN 4102-4 sind, muss der Ausnutzungsfaktor  $\alpha_1 \leq 1,0$  nachgewiesen werden.

### 3 STÜTZENBEMESSUNG NACH DIN 1045-1

#### 3.1 Allgemeines

Für die Berechnung des Lastausnutzungsfaktors  $\alpha_1$  nach Gl. (2.8) wird der Bemessungswert des Bauteilwiderstandes  $N_{Rd}$  benötigt. Der Wert  $N_{Rd}$  wird nach den Anwendungsregeln der DIN 1045-1 in Form eines allgemeinen Bemessungsverfahrens programmgesteuert berechnet. Damit sollen Abweichungen ausgeschlossen werden, die bei Anwendung eines vereinfachten Bemessungsverfahrens – z. B. dem Modellstützenverfahren nach DIN 1045-1, Abschnitt 8.6.5 – unvermeidbar sind. Solche Abweichungen können beispielsweise bei der Ermittlung der schlankheitsbedingten Traglastminderung insbesondere für große Schlankheiten und kleine bezogene Lastausmitten entstehen. Für diese Fälle ergibt das Modellstützenverfahren erheblich kleinere zulässige Stützenlasten im Vergleich zum allgemeinen



Bemessungsverfahren. Die Abweichungen liegen für die Stützenbemessung bei Raumtemperatur auf der sicheren Seite und unwirtschaftlichen Seite [13].

Im vorliegenden Forschungsvorhaben, in dem die Mindestbreite und der Mindestachsabstand für Stützenquerschnitte zu einer vorgegebenen Feuerwiderstandsdauer festgelegt werden sollen, muss der Bemessungswert des Bauteilwiderstandes  $N_{Rd}$  als oberer Grenzwert definiert werden. Aus dem Bemessungswert des Bauteilwiderstandes wird nach Gl. (2.2) und Gl. (2.3) der Bemessungswert der Normalkraft im Brandfall  $N_{Ed,fi} = \eta_{fi} \cdot N_{Rd}$  berechnet und dafür werden die erforderlichen Stützenabmessungen (Mindestquerschnittsbreite und Mindestachsabstand) bestimmt.

DIN 1045-1 bietet verschiedene Möglichkeiten für die Berechnung von Stahlbetonstützen mit nichtlinearen Verfahren [14]. In der Norm werden im Abschnitt 5.2 (2) b und 8.5.1 das  $\gamma_R$ -Konzept und im Abschnitt 8.6.1 (7) das Konzept der unterschiedlichen Werkstoffgesetze für Querschnittsbemessung und Verformungsermittlung genannt. Daneben ist die Nachweisführung, die ausschließlich auf Bemessungswerten der Baustoffeigenschaften basiert, allgemein anerkannt ([15], [16]).

Im vorliegenden Forschungsvorhaben wird der Bemessungswert des Bauteilwiderstandes  $N_{Rd}$  nach DIN 1045-1, Abschnitt 8.6.1 (7) ermittelt.

### **3.2 Bemessungswert des Bauteilwiderstandes $N_{Rd}$**

Die Berücksichtigung unterschiedlicher Spannungs-Dehnungs-Linien für die Querschnittsbemessung oder Querschnittstragfähigkeit und für die Verformungsberechnung stellt einen zusätzlichen Aufwand bei der Stützenbemessung infolge der gewissermaßen „doppelten Buchführung“ dar [16]. Die Querschnittstragfähigkeit wird mit dem Parabel-Rechteck-Diagramm nach DIN 1045-1, Bild 23, Gl. (65) und Gl. (66) und die Verformungen mit der Spannungs-Dehnungs-Linie nach DIN 1045-1, Bild 22, Gl. (62) durchgeführt. Im Bild 3.1 des Forschungsberichts sind die unterschiedlichen Spannungs-Dehnungs-Linien für die Berechnung der Querschnittstragfähigkeit und für die Berechnung der Verformung gegenübergestellt.

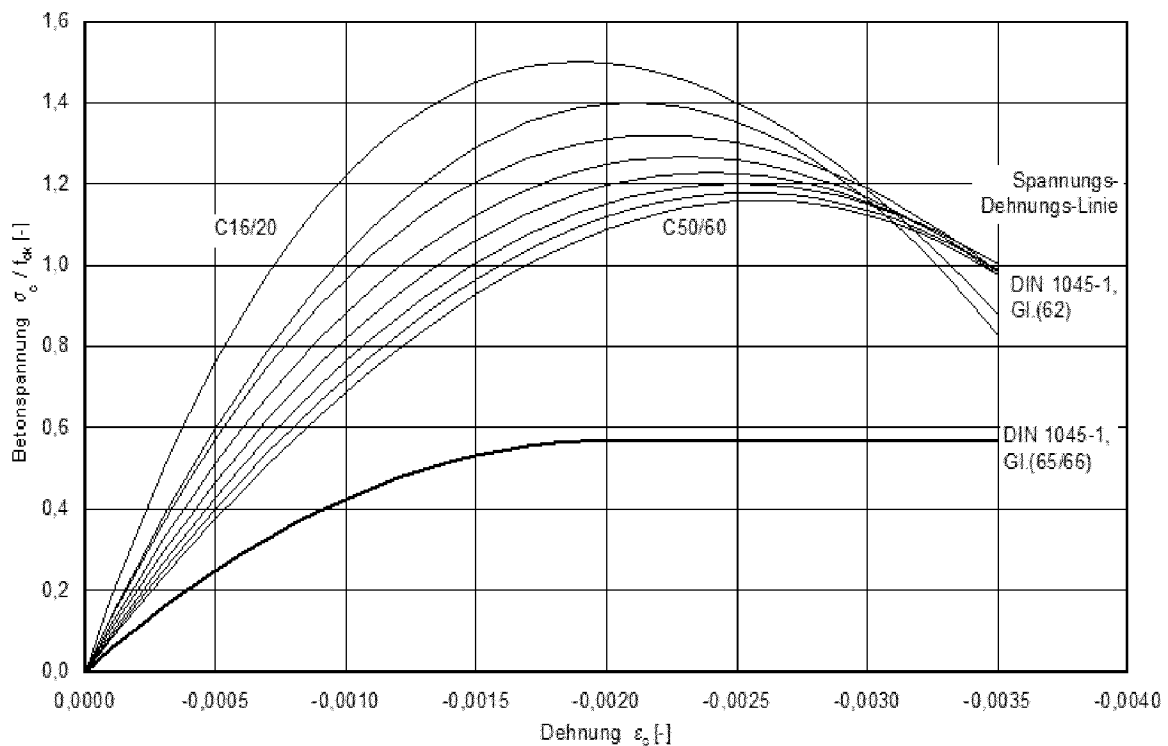


Bild 3.1 Spannungs-Dehnungs-Linien nach DIN 1045-1 zur Berechnung der Querschnittstragfähigkeit Gl. (65 / 66) und zur Verformungsberechnung Gl. (62)

Die Berechnung des Bemessungswertes des Bauteilwiderstandes  $N_{Rd}$  wurde programmgesteuert in getrennten Rechenläufen für die Querschnittstragfähigkeit und für die Einwirkungen nach Theorie 2. Ordnung durchgeführt. Bild 3.2 zeigt die Berechnung des Traglastzustandes für eine Stütze mit der Schlankheit  $\lambda = 43,3$  und der bezogenen Ausmitte  $e_1/h \approx 0,03$ . Der Grenzzustand der Tragfähigkeit ist für  $N_{Rd} = -1168$  kN erreicht. Bei diesem Wert ist der Bemessungswert der Einwirkungen nach Theorie 2. Ordnung (gestrichelte Linie) gleich dem Bemessungswert des Tragwiderstandes (durchgezogene Linie). Die Vergrößerung der Einwirkungen infolge der Verformungen nach Theorie 2. Ordnung ist vergleichsweise klein und dementsprechend ist auch die durch die Verformungen beeinflusste Tragfähigkeitsminderung der Stütze gegenüber der Querschnittstragfähigkeit klein. In diesem Beispiel  $(-1250 + 1168)/(-1250) \approx 7\%$ .

Die Ergebnisse der programmgesteuerten Berechnung wurden zunächst mit Werten aus [13] verglichen. In [13] werden Bemessungswerte der zulässigen Längskraft  $N$  ( $\equiv N_{Rd}$ ) für eine Stütze mit Rechteckquerschnitt in Abhängigkeit der Lastausmitte  $e_1/h$  und der Schlankheit  $l_0/h$  angegeben. Die berechneten Werte sind in [13] graphisch dargestellt, sie gelten für den bezogenen Randabstand der Bewehrung  $d_1/h = 0,10$ , der Betonfestigkeitsklasse C 30/37, der Betonstahlgüte BSt 500/550 und dem Bewehrungsverhältnis  $\omega = 0,50$  bzw.  $\rho = 0,020$ . Im

Bild 3.3 sind die zulässigen Längskräfte  $N$  aus [13] und die Kontrollwerte für die programmgesteuerte Ermittlung von  $N_{Rd}$  dargestellt.

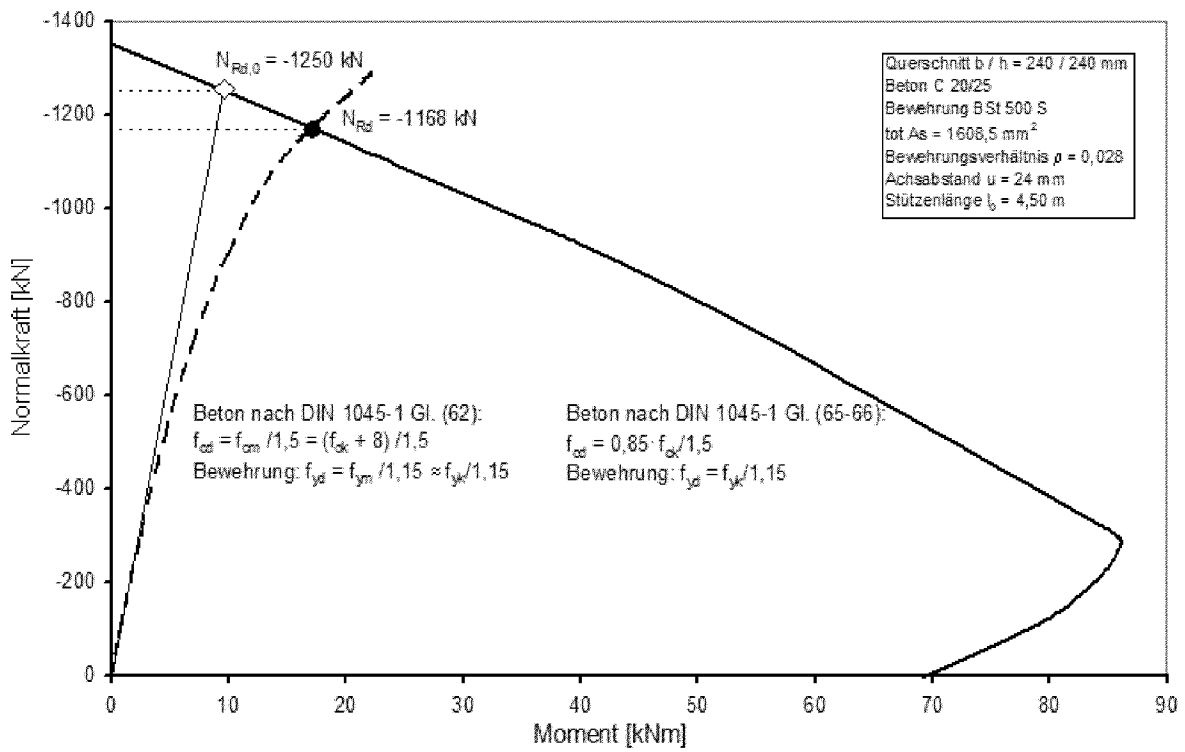


Bild 3.2 Ermittlung des Grenzzustandes der Tragfähigkeit für eine Stütze mit der Schlankheit  $\lambda = 43,3$  und der bezogenen Ausmitte  $e_1/h \approx 0,03$

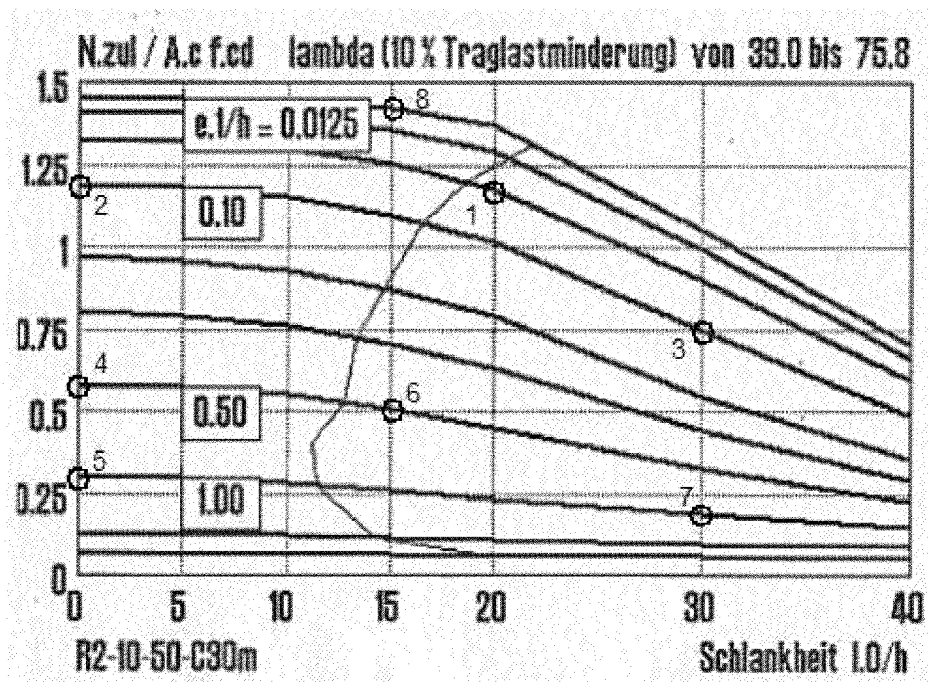


Bild 3.3 Zulässige Längskraft  $N$  aus [13] und Kontrollwerte für die programmgesteuerte Ermittlung von  $N_{Rd}$

In Tabelle 3.1 werden die Ergebnisse aus [13] mit den programmgesteuert ermittelten Werten verglichen; die mittlere Abweichung zwischen den Ergebnisse aus [13] und den programmgesteuert ermittelten Werten beträgt weniger als 1 %. Diese Abweichung ist vertretbar angesichts der unvermeidbaren Ungenauigkeiten beim Ablesen der zulässigen Längskräfte aus Bild 3.3.

*Tabelle 3.1: Vergleich der zulässigen Längskraft  $N$  aus [13] und den programmgesteuert ermittelten Bemessungswerten für die Normalkraft  $N_{Rd}$*

Beispiel Nr.	Stützenlänge $l_0$ [m]	Ausmitte $e_1$ [mm]	Normalkraft [kN]		Abweichung [%]
			zul N	$N_{Rd}$	
1	4,80	10,95	-1185	-1187	+0,2
2	0	24,0	-1165	-1165	0
3	7,20	24,0	-734	-776	+5,7
4	0	120,0	-558	-570	+2,2
5	0	240,0	-296	-296	0
6	3,60	120,0	-490	-497	+1,4
7	7,20	240,0	-186	-182	-2,15
8	3,60	3,0	-1391	-1395	+0,3

## 4 RECHENGRUNDLAGEN FÜR DEN BRANDSCHUTZTECHNISCHEN NACHWEIS

### 4.1 Programmgesteuerte Berechnung

Für die Berechnung der „heißen“ Tragfähigkeit wurde das Computerprogramm STABA-F [17] eingesetzt. Das Computerprogramm STABA-F wird in den Brandschutzteilen der Eurocodes als allgemeines Rechenverfahren, bestehend aus thermischer und mechanischer Analyse, bezeichnet. In der thermischen Analyse werden die Entwicklung und Verteilung der Bauteiltemperaturen berechnet. Hierfür ist in STABA-F der Programmmodul FIRES-T [18] implementiert. In der mechanischen Analyse wird das Tragwerks- und Bauteilverhalten unter Berücksichtigung der mechanischen Einwirkungen, der geometrischen Imperfektionen, der Wärmeeinwirkungen auf die temperaturabhängigen thermo-mechanischen Werkstoffeigenschaften und der geometrisch nichtlinearen Effekte (Theorie II. Ordnung) ermittelt. Im Pro-

gramm STABA-F sind die Rechengrundlagen aus den Brandschutzteilen der Eurocodes (Wärmeübergangsbedingen, temperaturabhängige thermische Dehnungen und Spannungs-/Dehnungsbeziehungen) integriert.

## 4.2 Thermische Analyse zur Berechnung der Bauteilerwärmung

In der thermischen Analyse werden – ausgehend vom Temperaturverlauf der Einheitstemperaturzeitkurve nach Bild 4.1 – die Bauteiltemperaturen im Stützenquerschnitt bestimmt. Dafür wird die Querschnittsfläche der Stütze in finite Elemente unterteilt, die eine zweidimensionale Temperatursausbreitung berücksichtigen; der Wärmefluss in Stützenlängsrichtung wird vernachlässigt.

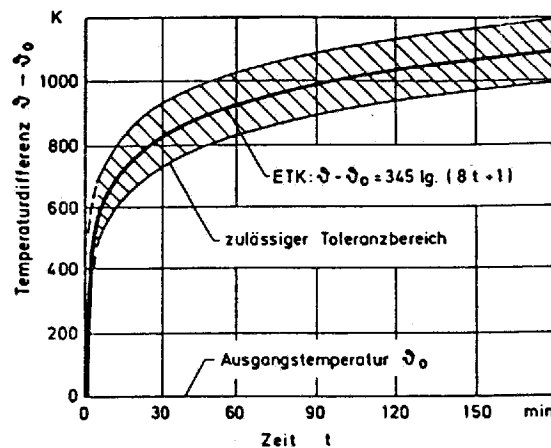


Bild 4.1: Einheitstemperaturzeitkurve nach DIN 4102 Teil 2 (09/1977) (aus [19])

Die Temperaturentwicklung in den Stahlbetonquerschnitten wird mit Hilfe der Fourier-Gleichung (Gl. (4.1)) berechnet

$$c_p \cdot \rho \cdot \delta T / \delta t = \text{div.} \lambda \cdot (\text{grad } T) + W \quad (4.1)$$

Dabei werden die thermischen Materialkennwerte für die spezifische Wärmekapazität  $c_p$ , die Rohdichte  $\rho$  und die Wärmeleitfähigkeit  $\lambda$  von Beton und Stahl entsprechend Bild 4.2 temperaturabhängig berücksichtigt [11].

Die Fourier-Gleichung wird rechnergestützt mit dem Computerprogramm FIRES-T gelöst. Die Feuchtigkeit im Beton wird dadurch berücksichtigt, dass in die spezifische Wärmekapazität des trockenen Betons die Verdampfungsenthalpie des Wassers einbezogen wird. Es wird angenommen, dass das Wasser bei der Temperatur von 100 °C zu verdampfen beginnt und beim Erreichen der Temperatur von 200 °C vollständig verdampft ist.

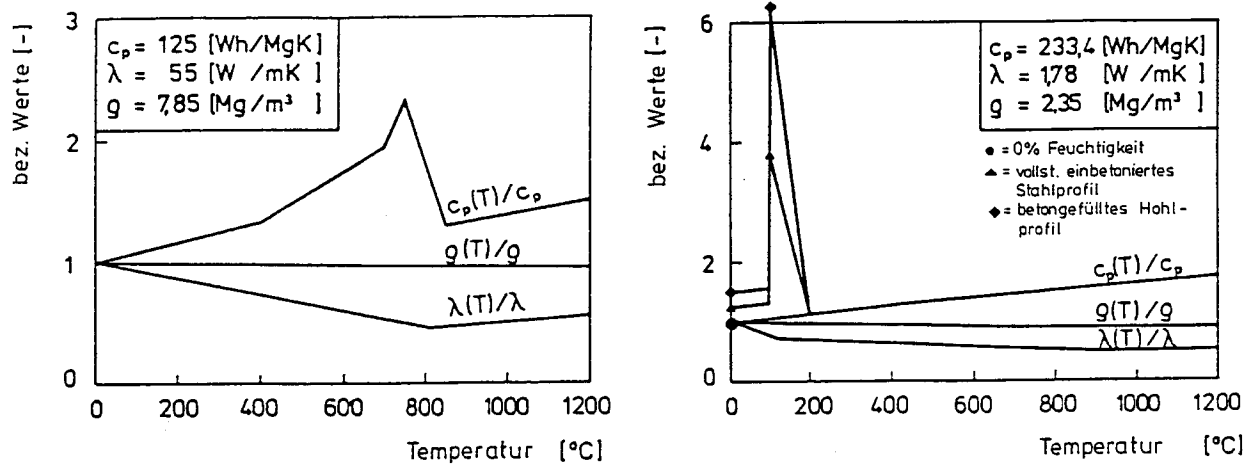


Bild 4.2 Thermische Stoffwerte von Stahl (links) und Beton (rechts) [11]

Die Wärmeübergangsbedingungen berücksichtigen einen konvektiven ( $\alpha = 25$  W/m<sup>2</sup>K) und einen radiativen ( $\varepsilon = 0,7$ ) Anteil [20]. Der Feuchtegehalt des Betons wird mit 3 Gew.-% angenommen.

### 4.3 Mechanische Analyse zur Berechnung des Trag- und Verformungsverhaltens

Die thermischen Dehnungen von Beton und Betonstahl sind im Bild 4.3 dargestellt. Das temperaturabhängige, nichtlineare mechanische Materialverhalten von Beton zeigt Bild 4.4 und vom Betonstahl Bild 4.5. In den nichtlinearen, temperaturabhängigen Materialbeschreibungen sind sowohl die temperaturabhängigen elastischen und plastischen Dehnungen als auch die sehr viel größeren, während der Aufheizphase entstehenden instationären Hochtemperatur-Kriechanteile enthalten [21].

Die Rechenfestigkeit des Betons wird ohne Dauerstandsabminderung in Ansatz gebracht, d. h. es wird mit der Zylinderdruckfestigkeit  $\sigma_c = f_{ck}$  gerechnet. Die Biegezugfestigkeit des Betons wird rechnerisch nicht berücksichtigt.

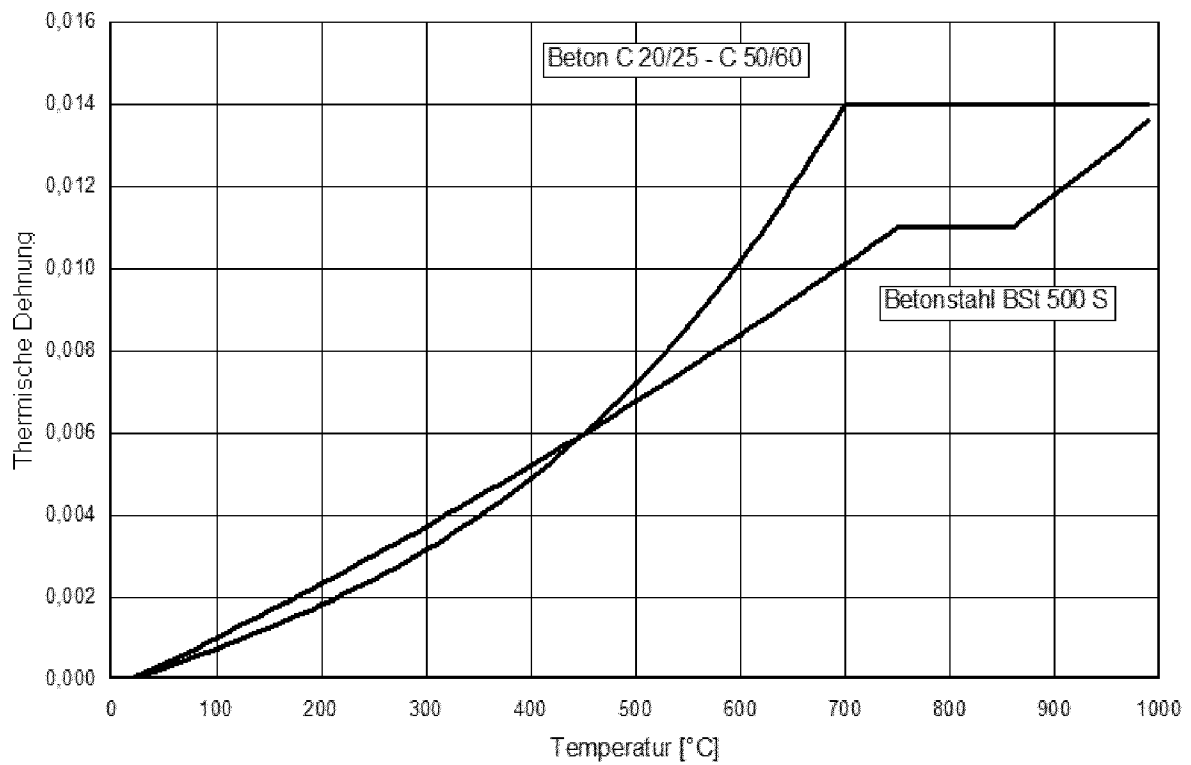


Bild 4.3 Rechenwerte der thermischen Dehnung

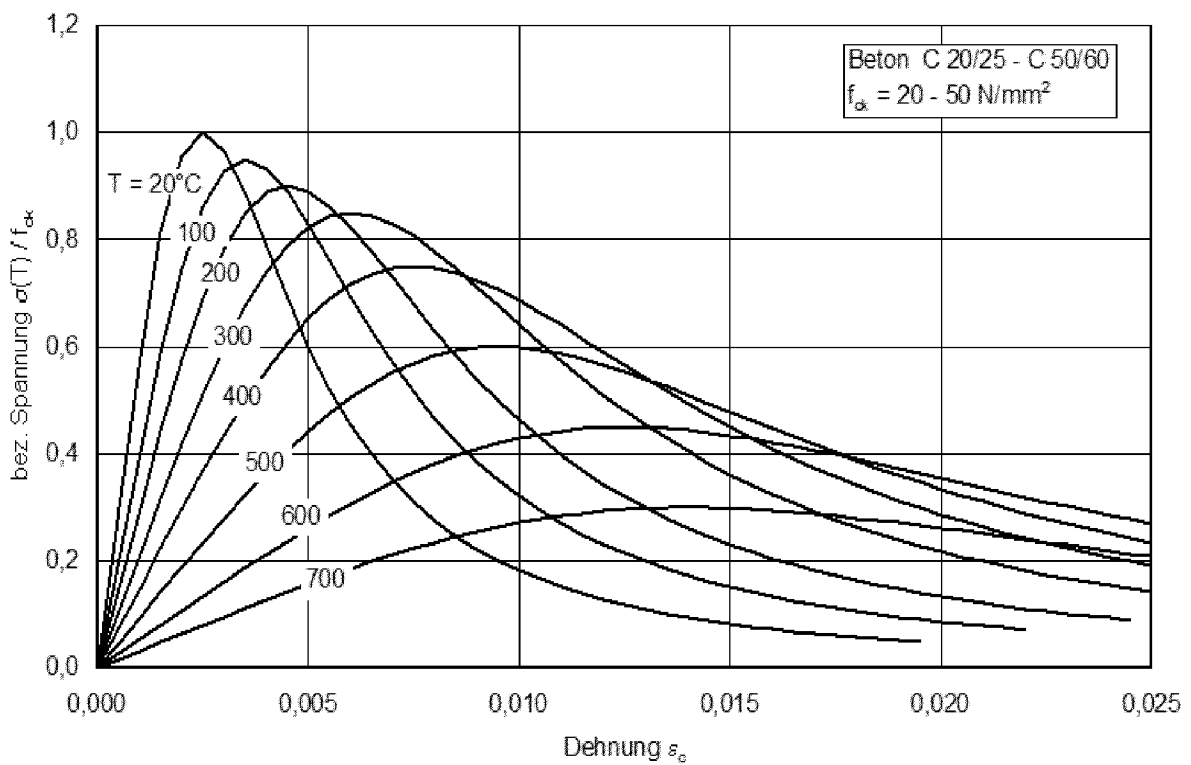


Bild 4.4 Rechenwerte der Spannungs-Dehnungs-Beziehung von Beton

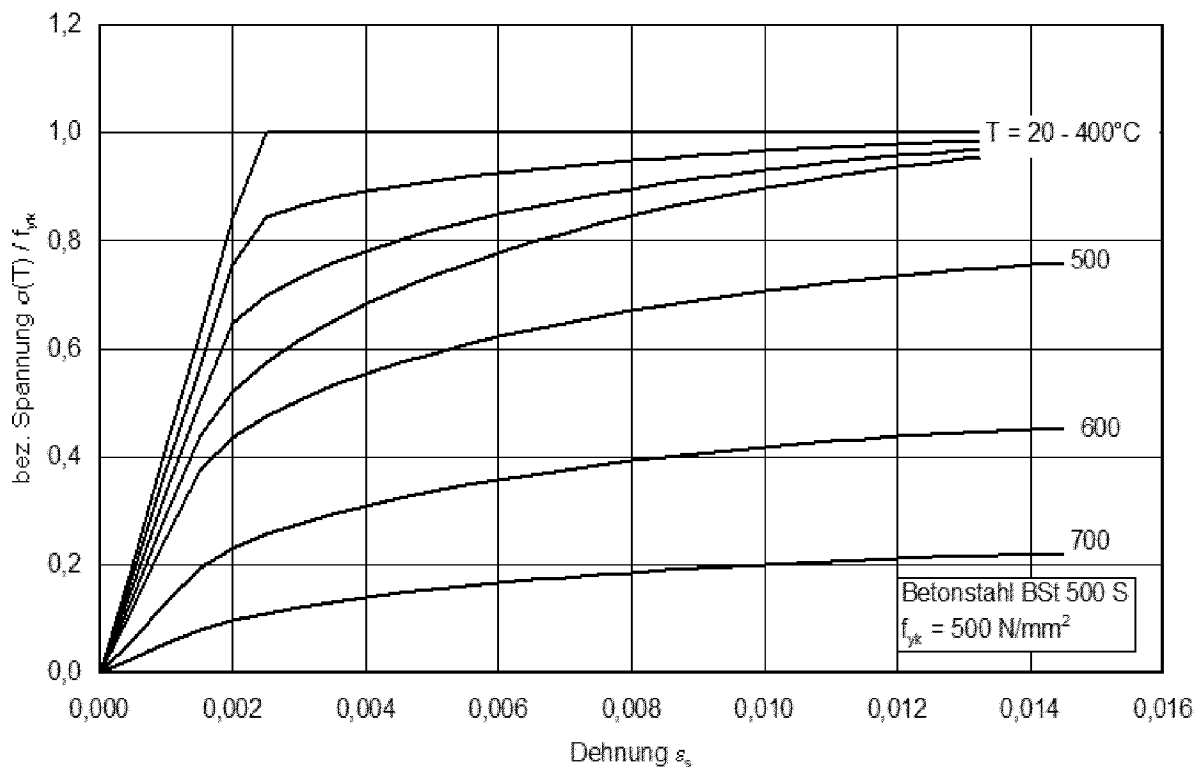


Bild 4.5 Rechenwerte der Spannungs-Dehnungs-Beziehung von Betonstahl BSt 500

## 5 PARAMETERSTUDIE

### 5.1 Allgemeines

In diesem Abschnitt wird für eine Stahlbetonstütze mit den Querschnittsabmessungen  $b / h = 240 / 240$  mm und der Betonstahlgüte BSt 500 S der Einfluss der Stützenlänge  $l_0$ , des Achsabstandes  $u$ , der Lastausmitte  $e_1$ , der Betonfestigkeitsklasse und des Bewehrungsverhältnisses  $\rho$  auf die Feuerwiderstandsdauer untersucht. In Tabelle 5.1 sind die Parameter mit ihrem kleinsten und größten Wert zusammengestellt. Die Stütze wurde 4-seitig durch die Einheits-temperaturzeitkurve (Bild 4.1) beansprucht.

Der Bemessungswert des Bauteilwiderstandes  $N_{Rd}$  wurde nach Abschnitt 3.2 des Forschungsberichts ermittelt. Dabei wurde die Knicklänge der Stütze gleich der Stützenlänge  $l_0$  (Eulerfall 2) gesetzt und mit beiderseits gleichgroßer und gleichsinniger Endausmitte  $e_1 = e_a$  nach DIN 1045-1 gerechnet. Für den Bemessungswert der Beanspruchung im Brandfall wurde in der Parameterstudie mit  $N_{Ed,fi} = 0,7 \cdot N_{Rd}$  gerechnet, zur Berücksichtigung der rotationsbehindert gelagerten Stützenenden wurde im Brandfall mit der beidseitig eingespannten Stütze (Eulerfall 4) gerechnet. Als Vorverformung wurde eine spannungslose Parabel mit



dem Scheitelwert  $f = l_0 / 2000$  angesetzt [11]. Dadurch werden in der Rechnung die versuchstechnisch bedingten Imperfektionen, zum Beispiel eine geringe ungewollte Abweichung bei der Lasteinleitung, berücksichtigt. Bei großen Schlankheit wirken sich versuchstechnisch bedingte Imperfektionen deutlich auf die im Brandversuch erreichte Feuerwiderstandsdauer aus. In [11] wird über starke Streuungen bei den Versuchsergebnisse von planmäßig mittig belasteten Stahlbetonstützen berichtet. Im Allgemeinen führt die bei der Berechnung angenommene Vorverformung  $l/2000$  dazu, dass die berechneten Versagenszeiten im Durchschnitt kleiner sind als die im Brandversuch ermittelten Versagenszeiten.

Aus den Ergebnissen der Parameterstudie werden die maßgebenden Einflussgrößen festgelegt, die bei der Ermittlung der Mindestquerschnittsbreite und des Mindestachsabstandes einer Stahlbetonstütze eingehalten werden müssen.

Tabelle 5.1 Parameter

Parameter	kleinster Wert	größter Wert
Stützenlänge $l_0$ [m]	3,0	6,0
Achsabstand $u = c_{nom} + \varnothing_{Bü} + \varnothing_s/2$ [mm]	24	$c_{nom}$ nach DIN 1045-1
Lastausmitte $e_1 = e_0 + e_a$ [mm]	$e_1 = e_a$	$e_1 = 0,5 \cdot h$
Betonfestigkeitsklasse	C 20/25	C 50/60
Bewehrungsverhältnis $\rho$	0,02	0,068

Für die Ermittlung des Achsabstandes wurden Stahlbetonstützen als Innenbauteile der Expositionsklasse XC1 angenommen. Die Betondeckung der Bügelbewehrung wurde mit

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c \quad (5.1)$$

mit  $c_{min} = \max \{10\text{mm}, \varnothing_s\}$

$$\Delta c = 10 \text{ mm}$$

und der Achsabstand der Längsbewehrung nach Bild 5.1 mit

$$u = c_{nom} + \varnothing_{Bü} + \varnothing_s / 2 \quad (5.2)$$

mit  $\varnothing_{Bü} = 6 \text{ mm}$

$$\varnothing_s \geq 12 \text{ mm}$$

festgelegt.

Die Bewehrung wurde in einlagiger Anordnung symmetrisch ( $A_{s1} = A_{s2}$ ) auf gegenüberliegende Querschnittsseiten verteilt. Der Durchmesser der Längsbewehrung  $\varnothing_s$  (12 mm, 14 mm, 16 mm, 20 mm, 25 mm oder 28 mm) und die Anzahl der Bewehrungsstäbe wurden so festgelegt, dass die Bewehrung jeweils aus Stäben mit gleichem Durchmesser bestand und das vorgegebene Bewehrungsverhältnis möglichst genau erreicht wurde.

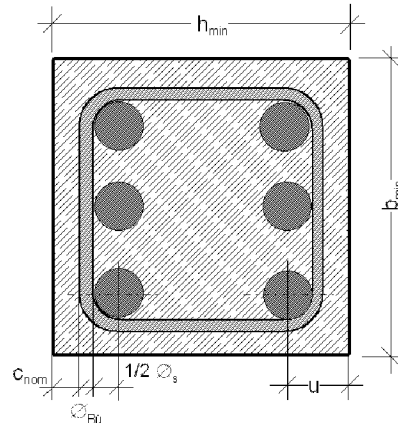


Bild 5.1 Achsabstand  $u$  der Längsbewehrung ( $b_{min} = h_{min}$ )

## 5.2 Auswirkung der Stützenlänge

Bild 5.2 zeigt den Einfluss der Stützenlänge auf die Branddauer. Für hochbautypische Stahlbetonstützen mit der Stützenlänge  $3,0 \text{ m} \leq l_0 \leq 6,0 \text{ m}$  variiert die berechnete Branddauer zwischen 69 min und 50 min. Mit größer werdender Stützenlänge nimmt die Branddauer ab.

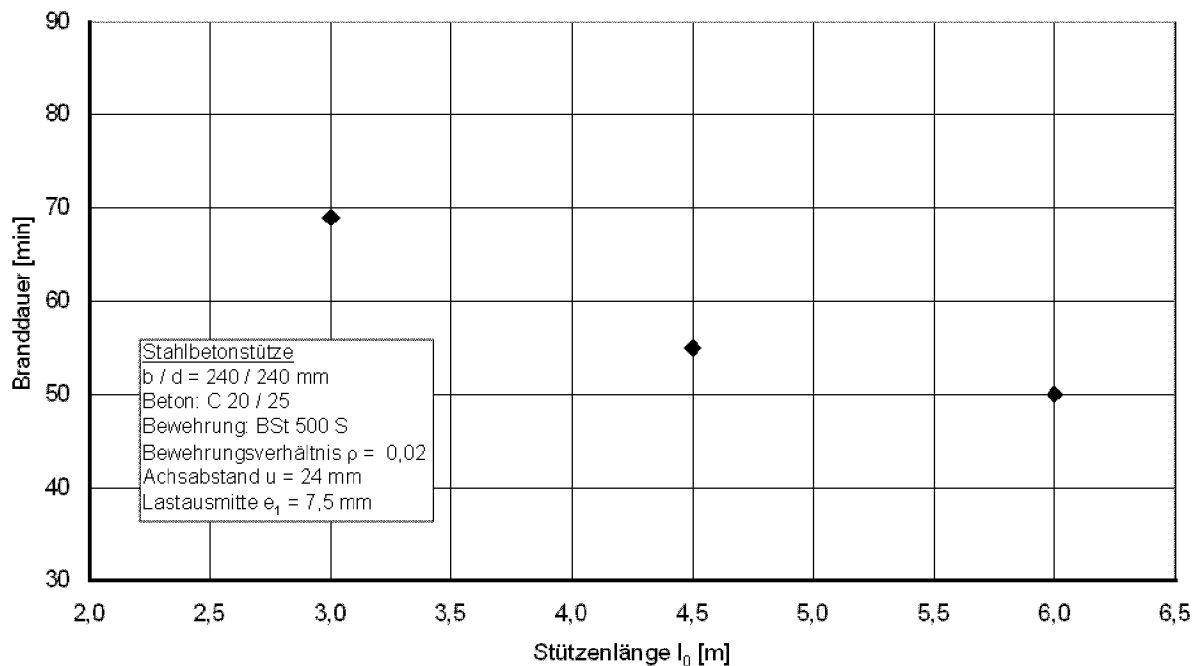


Bild 5.2 Auswirkung der Stützenlänge auf die Branddauer

### 5.3 Auswirkung des Achsabstandes

Bild 5.3 zeigt den Einfluss des Achsabstandes der Längsbewehrung auf die Branddauer. Für die Parameterstudie wurde der Achsabstand zwischen  $24 \text{ mm} \leq u \leq 34 \text{ mm}$  variiert. Dafür lag die berechnete Branddauer zwischen 69 min und 81 min.

Für die Erstellung der Bemessungstabelle wird der Achsabstand der Längsbewehrung an das nach DIN 1045-1, Abschnitt 6.3 erforderliche Maß der Betondeckung gekoppelt.

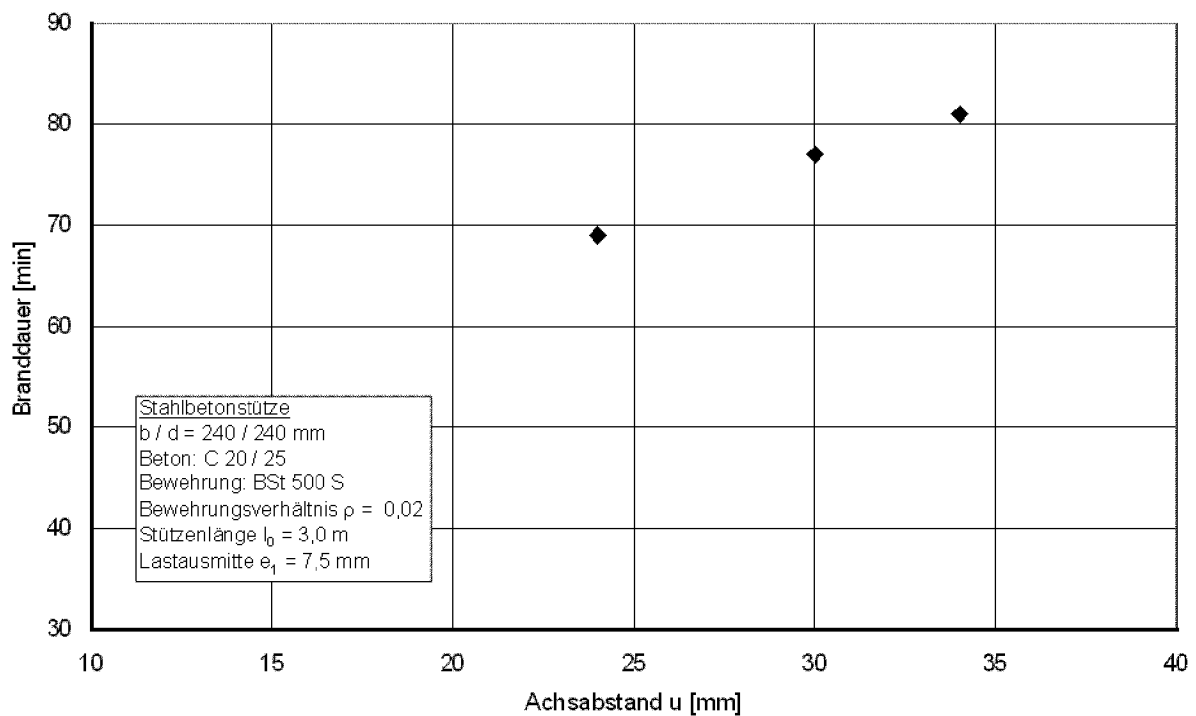


Bild 5.3 Auswirkung des Achsabstandes der Längsbewehrung auf die Branddauer

### 5.4 Auswirkung der Bewehrungsmenge

Bild 5.4 zeigt den Einfluss der Bewehrungsmenge auf die Branddauer. Für Bewehrungsverhältnisse  $0,02 \leq \rho \leq 0,042$  variiert die berechnete Branddauer in einem relativ engen Streubereich zwischen 69 min und 61 min. Mit zunehmender Bewehrungsmenge fällt die Branddauer leicht ab.

Für die Erstellung der Bemessungstabelle wird das Bewehrungsverhältnis  $\rho = 0,02$  festgesetzt.

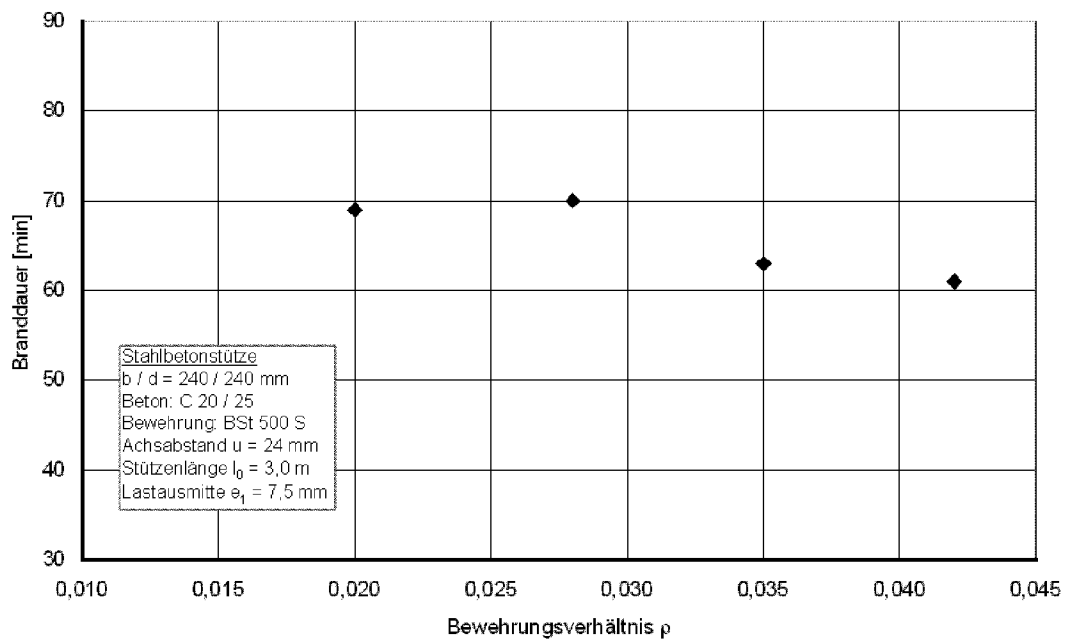


Bild 5.4 Auswirkung der Bewehrungsmenge auf die Branddauer

## 5.5 Auswirkung der Betonfestigkeit

Bild 5.5 zeigt den Einfluss der Betonfestigkeit auf die Branddauer. Im Bereich zwischen  $20 \text{ N/mm}^2 \leq f_{ck} \leq 50 \text{ N/mm}^2$  variiert die berechnete Branddauer zwischen 69 min und 79 min. Mit zunehmender Betonfestigkeit steigt die Branddauer leicht an.

Für die Erstellung der Bemessungstabelle wird die Betonfestigkeitsklasse C 20/25 festgelegt.

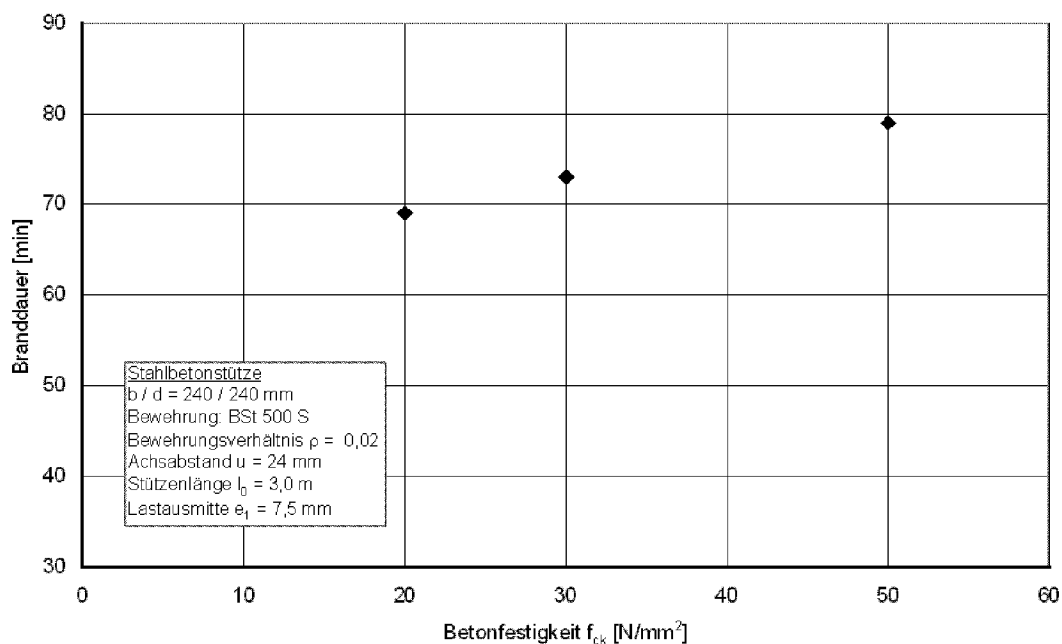


Bild 5.5 Auswirkung der Betonfestigkeit auf die Branddauer

## 5.6 Auswirkung der Lastausmitte

Bild 5.6 zeigt den Einfluss der Lastausmitte  $e_1 = e_0 + e_a$  auf die Branddauer. Im Rahmen der Parameterstudie wurde die Lastausmitte zwischen  $7,5 \text{ mm} \leq e_1 \leq 120 \text{ mm} = 0,5 \cdot b$  variiert. Dafür wurden Branddauern zwischen 69 min und 130 min berechnet. Für große Lastausmitten  $e_1$  steigt die Branddauer an. Ursache dafür ist die Traglastminderung für große Lastausmitten und die daraus resultierende vergleichsweise kleine Belastung im Brandfall  $N_{Ed,fi}$  (s. Bild 3.3).

Für die Erstellung der Bemessungstabelle wird die Lastausmitte  $e_1$  nach DIN 1045-1, Abschnitt 8.6.5, Gleichung (34)  $e_1 = e_0 + e_a$  mit  $e_0 = 0$  und  $e_a$  nach Gleichung (33) in Verbindung mit Gleichung (4) festgelegt.

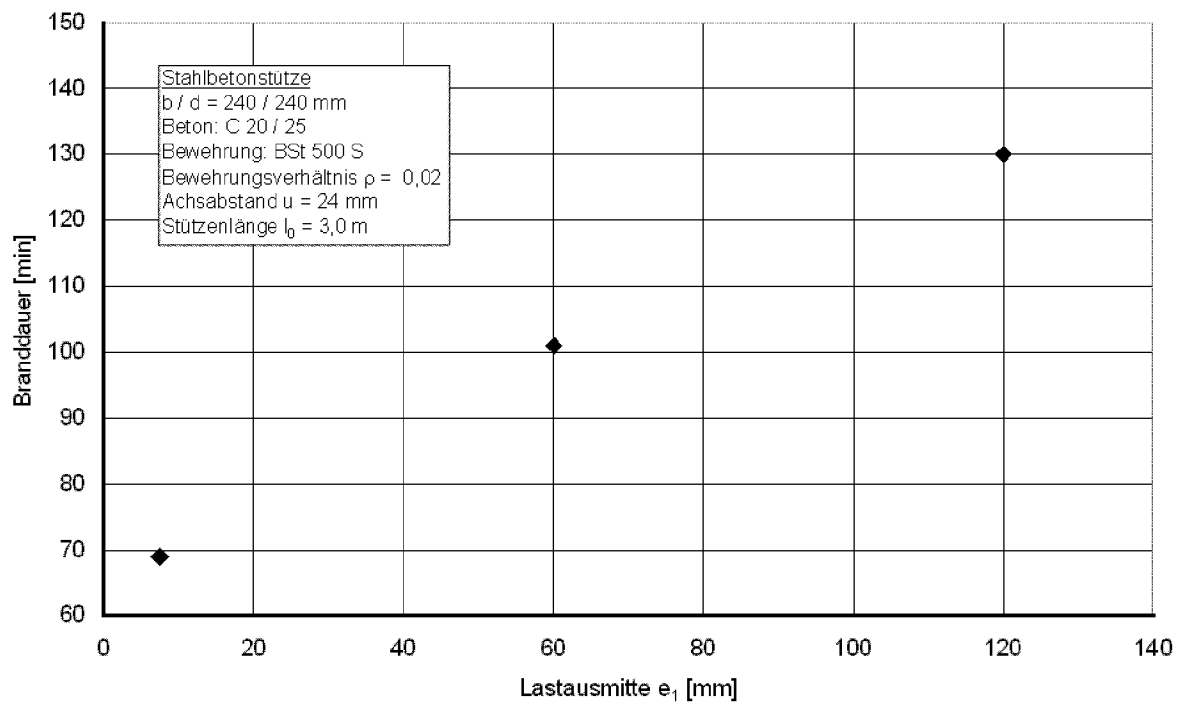


Bild 5.6 Auswirkung der Lastausmitte  $e_1$  auf die Branddauer

## 5.7 Zusammenfassung

In Tabelle 5.2 sind die Parameter zusammengestellt, die die Grundlage für die Ermittlung der tabellierten Stützenquerschnitte in Abschnitt 6 bilden.

Tabelle 5.2 Parameter für die Ermittlung der tabellierten Stützenquerschnitte

Parameter	Wert
Stützenlänge $l_0$ [m]	6,0
Achsabstand $u = c_{nom} + \varnothing_{Bü} + \varnothing_s/2$ [mm]	$c_{nom}$ nach DIN 1045-1
Lastausmitte $e_1 = e_a$ [mm]	$e_a$ nach DIN 1045-1, Gl.(33)
Betonfestigkeitsklasse	C 20/25
Bewehrungsverhältnis $\rho$	0,02

## 6 TABELLIERTE STÜTZENQUERSCHNITTE

### 6.1 Grundlagen

Die Mindestbreite des Stützenquerschnitts und der Mindestachsabstand der Bewehrung wurden für die Feuerwiderstandsklassen F 30 bis F 180 ermittelt.

Der Bemessungswert des Bauteilwiderstandes  $N_{Rd}$  wurde nach Abschnitt 3.2 des Forschungsberichts berechnet. Dabei wurde die Knicklänge der Stütze gleich der Stützenlänge  $l_0$  (Eulerfall 2) gesetzt und mit beiderseits gleichgroßer und gleichsinniger Endausmitte  $e_1 = e_a$  nach DIN 1045-1 gerechnet.

Der Bemessungswert der Beanspruchung im Brandfall wurde zu  $N_{Ed,fi} = \alpha_1 \cdot N_{Rd}$  gesetzt, wobei der Lastausnutzungsfaktor  $\alpha_1 = 0,7$ ,  $\alpha_1 = 0,5$  und  $\alpha_1 = 0,2$  betrug. Zur Berücksichtigung der rotationsbehindert gelagerten Stützenenden wurde im Brandfall mit einer beidseitig eingespannten Stütze (Eulerfall 4) gerechnet. Als Vorverformung wurde eine spannungslose Parabel mit dem Scheitelwert  $f = l_0 / 2000$  angesetzt.

Es wurden Stahlbetonstützen mit 4-seitiger Brandbeanspruchung nach Einheitstemperaturzeitkurve (Bild 4.1) untersucht.

### 6.2 Mindestachsabstand

Der Achsabstand der Längsbewehrung  $u = c_{nom} + \varnothing_{Bü} + \varnothing_s / 2$  ( $\varnothing_{Bü} = 6$  mm,  $\varnothing_s \geq 12$  mm) wurde nach DIN 1045-1 für Innenbauteile der Expositionsklasse XC1 festgelegt (s. Gl. (5.2)). Die Bewehrung tot  $A_s$  wurde in einlagiger Anordnung symmetrisch ( $A_{s1} = A_{s2}$ ) auf gegenüberliegende Querschnittsseiten verteilt. Der Durchmesser der Längsbewehrung  $\varnothing_s$  (12 mm, 14 mm, 16 mm, 20 mm, 25 mm oder 28 mm) und die Anzahl der Bewehrungsstäbe wurden so bestimmt, dass die Bewehrung jeweils aus Stäben mit gleichem Durchmesser bestand und das vorgegebene Bewehrungsverhältnis  $\rho = 0,02$  möglichst genau erreicht wurde. Als Mindestbewehrung wurde nach DIN 1045-1, Abschnitt 13.5.1 für Querschnitte mit  $b \leq 400$  mm je ein Bewehrungsstab in den Ecken mit einem Durchmesser  $\varnothing_s \geq 12$  mm vorgegeben. Für den Querschnitt  $b / h = 120 / 120$  mm ergab sich daraus das Bewehrungsverhältnis  $\rho \approx 0,03$ , für die Querschnitte  $b / h > 120 / 120$  mm betrug das Bewehrungsverhältnis  $0,017 \leq \rho \leq 0,02$  (Bild 6.1).

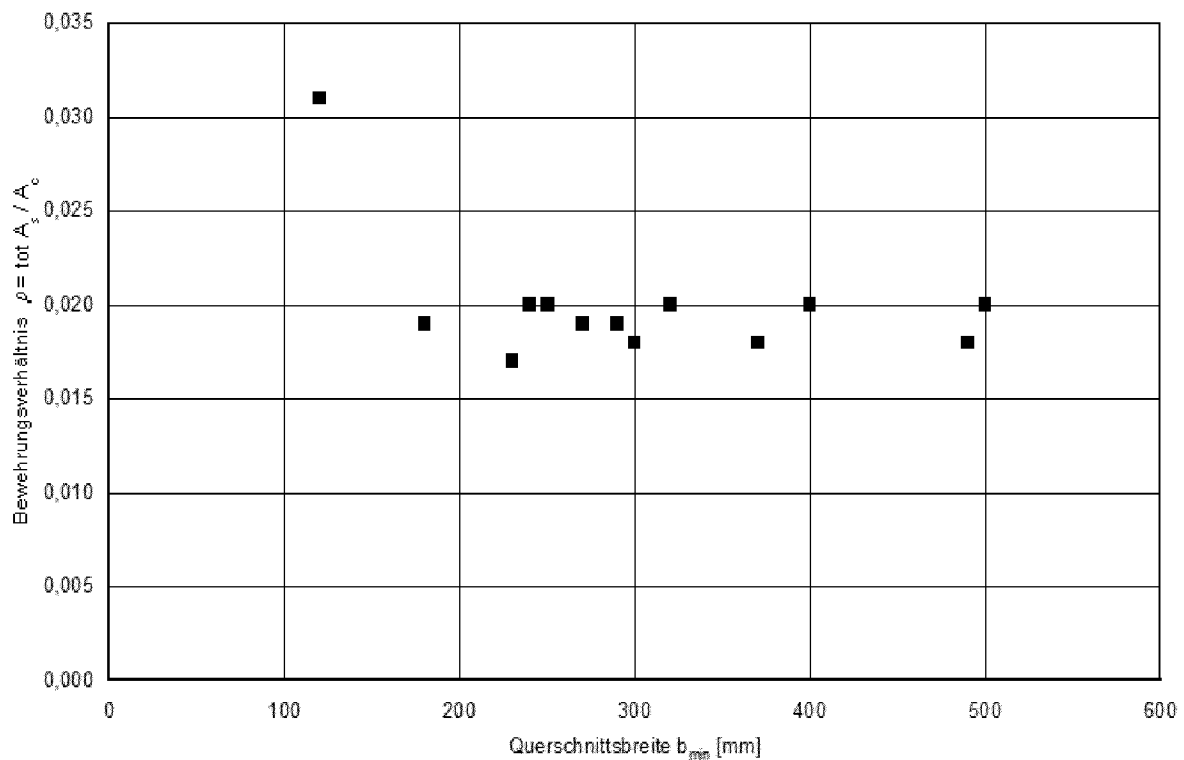


Bild 6.1 Bewehrungsverhältnis  $\rho = \text{tot } A_s / A_c$  der tabellierten Stützenquerschnitte

### 6.3 Mindestquerschnittsbreite

Die geringste zulässige Seitenlänge eines Stützenquerschnitts wird in DIN 1045-1, Abschnitt 13.5.1 für waagrecht betonierte Fertigteilstützen mit  $b = 120$  mm festgesetzt. Dieser Wert wird als kleinste Mindestquerschnittsbreite bei der Ermittlung der tabellierten Stützenquerschnitte übernommen.

Die Mindestquerschnittsbreiten werden in der Bemessungstabelle für Stahlbetonstützen mit der für die Praxis wichtigen Rundungen auf gerade 10-Millimeterwerte angegeben. Dadurch können geringfügige Abweichungen gegenüber der rechnerisch erforderlichen Mindestquerschnittsbreite bzw. der Feuerwiderstandsklasse und der berechneten Branddauer entstehen. In den Bildern 6.2 bis 6.4 werden die Abweichungen in Abhängigkeit von der Belastung im Brandfall  $N_{Ed,fi}$  dargestellt. Die größte Abweichung zwischen Feuerwiderstandsklasse und berechneter Branddauer beträgt 3 Minuten, das bedeutet für  $N_{Ed,fi} = 0,5 \cdot N_{Rd}$  und F 60 (Bild 6.3) ungefähr 5 % und für  $N_{Ed,fi} = 0,7 \cdot N_{Rd}$  und F 180 (Bild 6.4) weniger als 2 %. Diese Abweichungen werden für vertretbar gehalten, da in der Praxis üblicherweise mit  $N_{Ed} \leq N_{Rd}$  gerechnet wird und in den Landesbauordnungen in der Regel Feuerwiderstandsklassen F 30 oder F 90 gefordert werden, bei denen die berechnete Branddauer größer ist als die Feuerwiderstandsklasse oder nur um ca. 1 % davon abweicht.



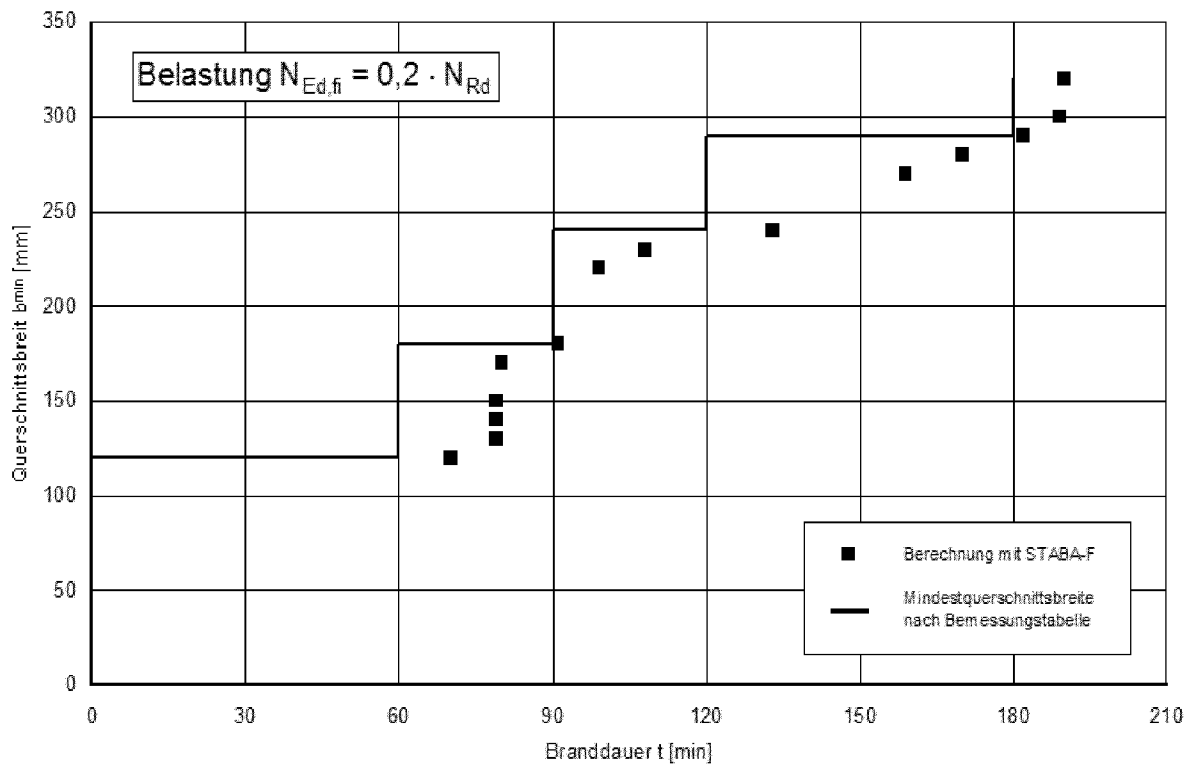


Bild 6.2 Vergleich der berechneten Querschnittsbreite und der Mindestquerschnittsbreite nach Bemessungstabelle für die Belastung im Brandfall  $N_{Ed,fi} = 0,2 \cdot N_{Rd}$

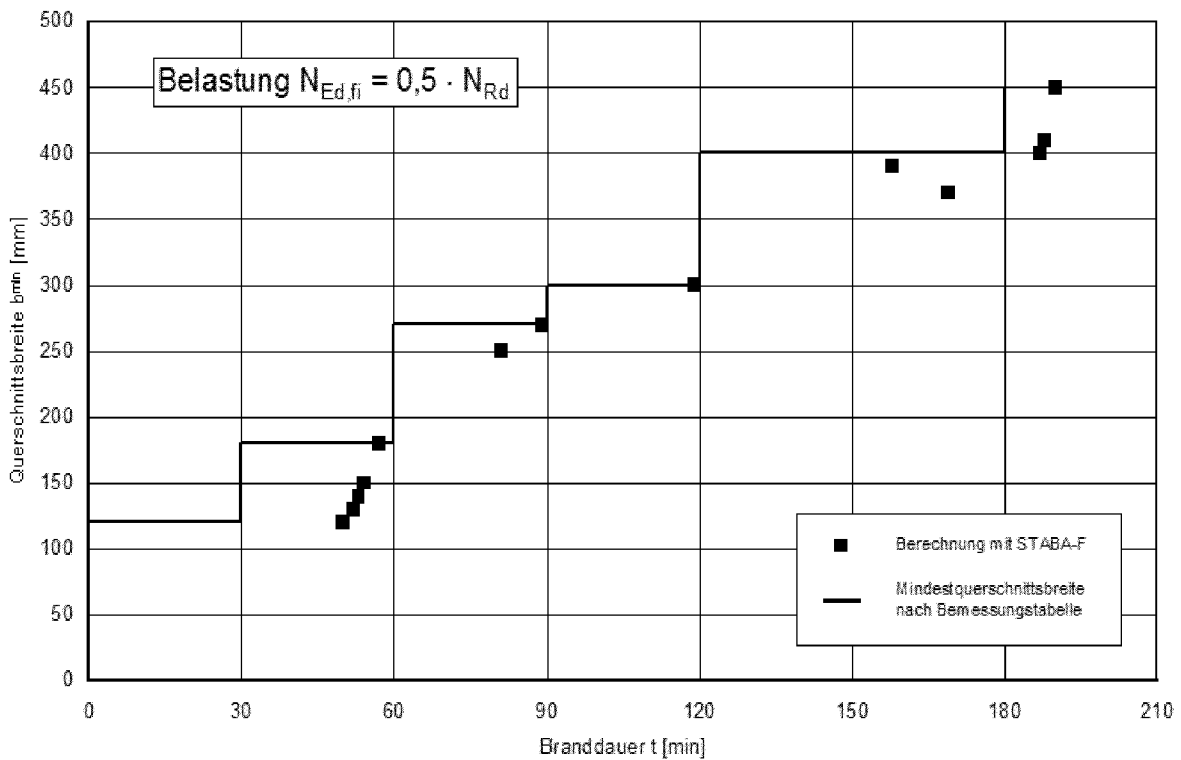


Bild 6.3 Vergleich der berechneten Querschnittsbreite und der Mindestquerschnittsbreite nach Bemessungstabelle für die Belastung im Brandfall  $N_{Ed,fi} = 0,5 \cdot N_{Rd}$

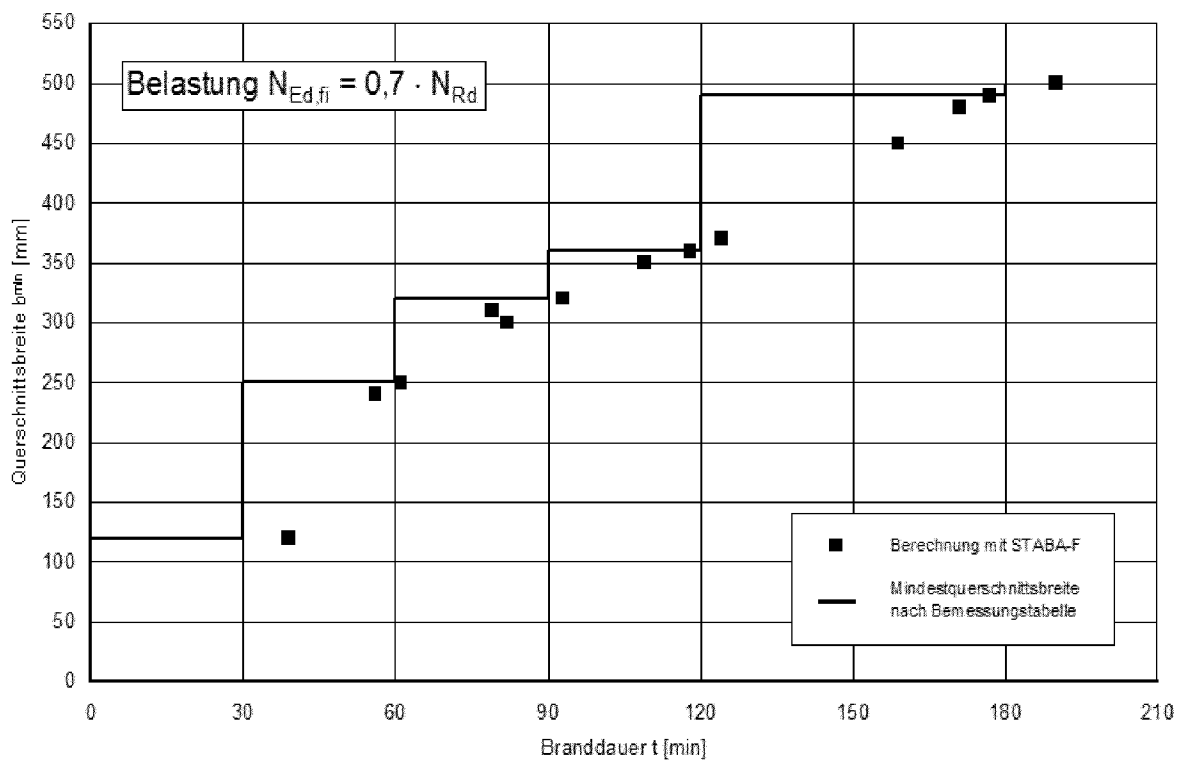


Bild 6.4 Vergleich der berechneten Querschnittsbreite und der Mindestquerschnittsbreite nach Bemessungstabelle für die Belastung im Brandfall  $N_{Ed,fi} = 0,7 \cdot N_{Rd}$

## 6.4 Bemessungstabelle für Stahlbetonstützen

Bild 6.5 zeigt den Entwurf der Bemessungstabelle für 4-seitig brandbeanspruchte Stahlbetonstützen bei Bemessung der Gebrauchslastfälle nach DIN 1045-1. Der Ausnutzungsfaktor ergibt sich nach Gleichung (6.1)

$$\alpha_1 = \frac{N_{Ed,fi}}{N_{Rd}} \quad (6.1)$$

Bei Anwendung der Bemessungstabelle müssen die im Abschnitt 2.1 des Forschungsberichtes zusammengestellten konstruktiven Randbedingungen beachtet werden. In den Abschnitten 3.13.2.3 und 3.13.2.5 (Nummerierung nach DIN 4102-4) muss der Begriff „Knicklänge“ durch „Ersatzlänge“ und im Abschnitt 3.13.2.3 der Hinweis auf die Norm „DIN 1045:1988-07, Abschnitt 17.4.2“ durch den Hinweis auf die Norm „DIN 1045-1:2001-07, Abschnitt 8.6.2 (4)“ ersetzt werden.

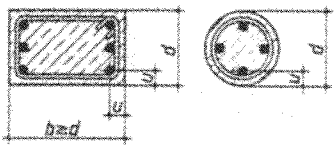
Zeile	Konstruktionsmerkmale 	Feuerwiderstandsklasse – Benennung				
		R 30	R 60	R 90	R 120	R 180
1	Mindestquerschnittsabmessungen unbekleideter Stahlbetonstützen bei mehrseitiger Brandbeanspruchung bei einem					
1.1	Ausnutzungsfaktor $\alpha_1 = 0,2$					
1.1.1	Mindestdicke d in mm	120	120	180	240	290
1.1.2	zugehöriger Mindestachsabstand u in mm	34	34	37	34	40
1.2	Ausnutzungsfaktor $\alpha_1 = 0,5$					
1.2.1	Mindestdicke d in mm	120	180	270	300	400
1.2.2	zugehöriger Mindestachsabstand u in mm	34	37	34	40	46
1.3	Ausnutzungsfaktor $\alpha_1 = 0,7$					
1.3.1	Mindestdicke d in mm	120	250	320	360	490
1.3.2	zugehöriger Mindestachsabstand u in mm	34	37	40	46	40

Bild 6.5 Entwurf der Bemessungstabelle für unbekleidete Stahlbetonstützen bei mehrseitiger Brandbeanspruchung; Bemessung der Stützen bei Normaltemperatur nach DIN 1045-1

Im Anhang A Bild A1 des Forschungsberichtes ist eine gegenüber Bild 6.5 erweiterte Bemessungstabelle mit Angaben zum Bemessungswert der Belastung im Brandfall  $N_{Ed,fi}$  und zur Bewehrung (Bewehrungsmenge, Anzahl und Durchmesser der Längsstäbe) enthalten.

## 6.5 Interpolation

DIN 4102-4, Abschnitt 1.2.3 erlaubt für Tabellen mit Mindestbauteilabmessungen, die in Abhängigkeit von der Spannung bzw. der Lastausnutzung angegeben sind, die geradlinige Interpolation zur Ermittlung von Zwischenwerten von Stützendicken.

Im Bild 6.6 sind die Mindestquerschnittsabmessungen für die brandschutztechnische Bemessung von Stahlbetonstützen aus Bild 6.5 als Funktion des Lastausnutzungsfaktors  $\alpha_1$  und der Feuerwiderstandsklasse graphisch aufgetragen. Für jede Feuerwiderstandsklasse wurden die tabellierten Werte aus Bild 6.5 durch gestrichelte Linien verbunden. Es soll geprüft werden, ob innerhalb einer Feuerwiderstandsklasse eine geradlinige Interpolation zwischen den Tabellenwerten im Bild 6.5 zulässig ist.

Das untersuchte Beispiel ist im Bild 6.6 durch das Symbol „◇“ gekennzeichnet. Für den Lastausnutzungsfaktor  $\alpha_1 = 0,6$  und der Feuerwiderstandsklasse R 90 ergibt sich durch geradli-

nige Interpolation in Bild 6.5 die Mindestquerschnittsbreite  $b_{\min} = 295$  mm und der zugehörige Mindestachsabstand  $u = 37$  mm.

Für die Stahlbetonstützen mit dem Querschnitt  $b / h = 295 / 295$  mm, dem Achsabstand der Längsbewehrung  $u = 37$  mm, der Stützenlänge  $l_0 = 6,0$  m, der Lastausmitte  $e_1 = e_a = 12,25$  mm, der Betongüte C 20/25, der Betonstahlgüte BSt 500 S und dem Bewehrungsverhältnis  $\rho = 0,0185$  wird der Bemessungswert der Belastung  $N_{Rd} = -1389$  kN und der Bemessungswert der Belastung im Brandfall  $N_{Ed,fi} = 0,6 \cdot N_{Rd} = -833,4$  kN. Die programmgesteuerte Berechnung ergibt für diese Stütze eine Branddauer von 87 min, die Abweichung zum Ergebnis mit geradliniger Interpolation beträgt ca. -3%. Diese Abweichung ist vertretbar, da bei der programmgesteuerten Berechnung die Randbedingungen so festgesetzt wurden, dass eine möglichst kleine Branddauer ermittelt wird. Die Berechnung mit der Stützenlänge  $l_0 = 4,5$  m ergibt bereits eine Branddauer von 108 min und damit eine Abweichung auf der sicheren Seite liegend von ca. 17%.

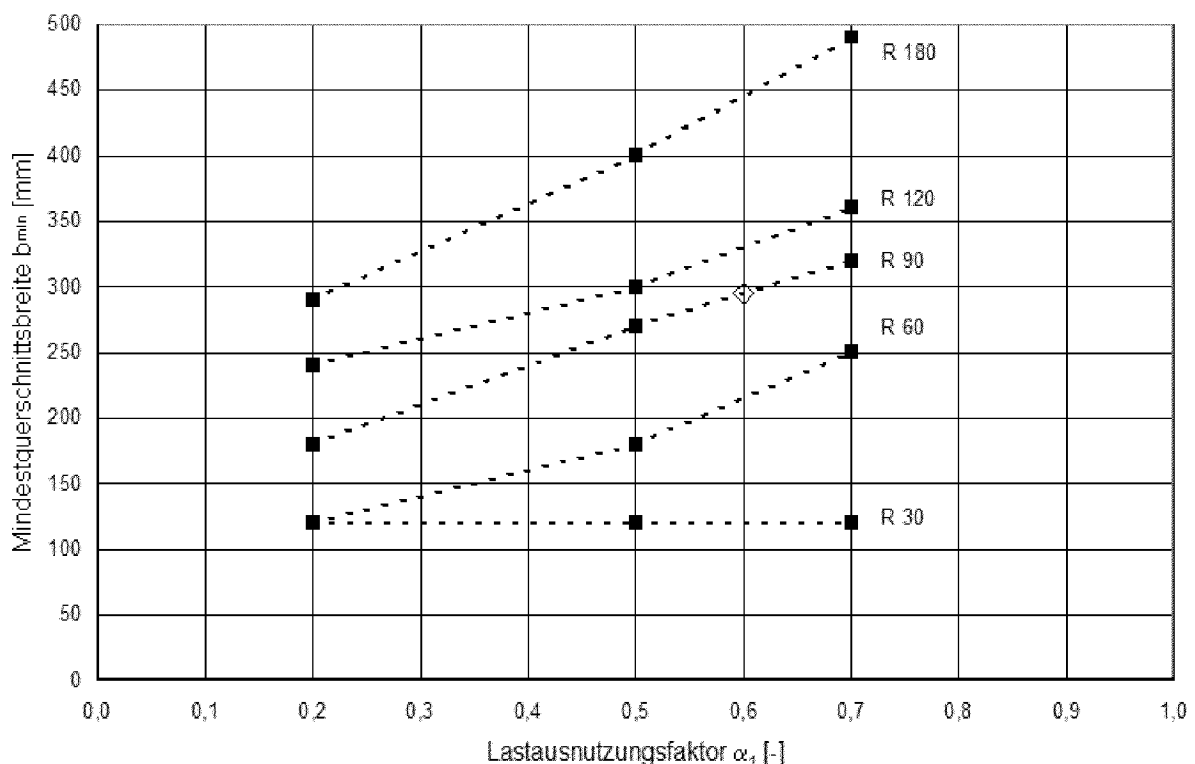


Bild 6.6 Mindestquerschnittsbreite  $b_{\min}$  für Stahlbetonstützen bei mehrseitiger Brandbeanspruchung und bei Bemessung der Stützen nach DIN 1045-1

## 7 VERGLEICH

### 7.1 Vorbemerkung

In diesem Abschnitt werden die im Bild 6.5 tabellierten Mindestquerschnittsabmessungen und Mindestachsabstände für die brandschutztechnische Bemessung von Stützen mit tabellierten Werten aus der Europäischen Norm prEN 1992-1-2 und mit Messwerten aus Brandversuchen verglichen.

### 7.2 prEN 1992-1-2

In der prEN 1992-1-2 [9] werden zwei Methoden zur brandschutztechnischen Bemessung von Stützen angeboten. Methode A erlaubt den Nachweis mit Hilfe von Tabelle 5.2a und durch Auswertung von Gleichung (5.6), mit der in Abhängigkeit von ausgesuchten Stützenparametern (Lastausnutzung, Bewehrungsgehalt, Stützenlänge, Querschnittsabmessungen) die Branddauer berechnet werden kann. Bei Methode B wird der Nachweis mit Hilfe von Tabelle 5.2b geführt, in der die tabellierten Querschnittsabmessungen und Achsabstände in Abhängigkeit des Lastniveaus  $n$  angegeben sind. Da das Lastniveau  $n$  auf den Bemessungswert der zentrischen Querschnittstragfähigkeit bezogen ist, können die Werte von Tabelle 5.2b und die im Forschungsvorhaben im Bild 6.5 zusammengestellten Werte nicht direkt verglichen werden.

Der Vergleich wird deshalb mit der Tabelle 5.2a und dem Rechenverfahren der Methode A durchgeführt.

#### 7.2.1 Methode A: Tabelle 5.2a

In der prEN 1992-1-2 Abschnitt 5.3.2 werden in Tabelle 5.2a (hier als Bild 7.1) für schlaff bewehrte und vorgespannte Betonstützen Mindestabmessungen  $b_{\min}$  und Achsabstände  $a$  in Abhängigkeit von der Feuerwiderstandsklasse und vom Abminderungsfaktor  $\mu_{fi}$  angegeben.

$$\mu_{fi} = N_{Ed,fi} / N_{Rd} \quad (7.1)$$

mit  $N_{Ed,fi}$  Bemessungswert der Längskraft im Brandfall

$N_{Rd}$  Bemessungswert der Tragfähigkeit der Stütze bei Normaltemperatur.

Der Abminderungsfaktor  $\mu_{fi}$  nach Gleichung (7.1) entspricht dem Lastausnutzungsfaktor  $\alpha_1$  nach Gleichung (6.1) und der Achsabstand  $a$  in Tabelle 5.2a (Bild 7.1) entspricht dem Min-

destachsabstand  $u$  in der Bemessungstabelle Bild 6.5. Da auch die Grundlagen der Bemessungstabelle für Stützen in DIN 4102-4/-22 von den Anwendungsgrenzen der Bemessungstabelle in prEN 1992-1-2 abgedeckt werden (s. Tabelle 7.1), können die in den beiden Tabellen enthaltenen Mindestabmessungen verglichen werden.

Tabelle 7.1 Grundlagen der Bemessungstabellen für Stützen in DIN 4102-4/ -22 und Anwendungsgrenzen der Bemessungstabelle in prEN 1992-1-2

Parameter	DIN 4102-4/-22 (Bild 6.5)	prEN 1992-1-2 (Bild 7.1)
Stützenlänge $l_0$ [m]	6,0	$\leq 6,0$
Achsabstand $u$ bzw. $a$	$u = f(c_{\text{nom}}$ nach DIN 1045-1)	$25 \text{ mm} \leq a \leq 75 \text{ mm}$
Lastausmitte $e_1 = e_0 + e_a$	$e_1 = e_a$ mit $e_a$ nach DIN 1045-1	$e_1 \leq 0,5 \cdot h$
Betonfestigkeitsklasse	C 20/25	$\leq C 50/60^*)$
Bewehrungsverhältnis $\rho$	0,02	$< 0,04$

\*) In der Bemessungstabelle der prEN 1992-1-2 (Bild 7.1) wird der Abminderungsbeiwert  $\alpha_{cc}$  zur Berücksichtigung von Langzeitwirkungen mit 1,0 angenommen

Feuerwiderstandsklasse	Mindestmaße (mm) Stützenbreite $b_{\text{min}}$ / Achsabstand $a$			
	brandbeansprucht auf mehr als einer Seite			brandbeansprucht auf einer Seite
	$\mu_{fi} = 0.2$	$\mu_{fi} = 0.5$	$\mu_{fi} = 0.7$	$\mu_{fi} = 0.7$
1	2	3	4	5
R 30	200/25	200/25	200/32 300/27	155/25
R 60	200/25	200/36 300/31	250/46 350/40	155/25
R 90	200/31 300/25	300/45 400/38	350/53 450/40**	155/25
R 120	250/40 350/35	350/45** 450/40**	350/57** 450/51**	175/35
R 180	350/45**	350/63**	450/70**	230/55
R 240	350/61**	450/75**	-	295/70
** Mindestens 8 Stäbe Bei vorgespannten Stützen ist die Vergrößerung des Achsabstandes nach 4.2.2 (4) zu beachten				

Bild 7.1 Bemessungstabelle 5.2a für Stützen aus prEN 1992-1-2

In den Bildern 7.2 bis 7.4 wird die Mindestquerschnittsbreite  $b_{\min}$  und in den Bildern 7.5 bis 7.7 der Mindestachsabstand aus dem Entwurf der Bemessungstabelle für DIN 4102-4 / -22 (Bild 6.5) und aus der Bemessungstabelle 5.2a der prEN 1992-1-2 für den Lastausnutzungsfaktor  $\alpha_1 = 0,2$ ,  $\alpha_1 = 0,5$  und  $\alpha_1 = 0,7$  verglichen. In der Bemessungstabelle 5.2a der prEN 1992-1-2 werden für einige Feuerwiderstandsklassen zwei Werte für die Mindestquerschnittsbreite und für den Mindestachsabstand angegeben; in den Bildern 7.2 bis 7.7 ist die Differenz zwischen den beiden Werten als grau schraffierte Fläche dargestellt. Dabei gehört der kleinere (größere) Wert der Querschnittsbreite zum größeren (kleineren) Wert des Achsabstandes.

Im Bereich  $60 \text{ min} \leq \text{Feuerwiderstandsdauer} \leq 120 \text{ min}$  liegen die Mindestquerschnittsbreiten aus dem Entwurf der Bemessungstabelle für DIN 4102-4 / -22 geringfügig unter den Werten aus der Bemessungstabelle 5.2a der prEN 1992-1-2. Die dadurch bedingte schnelle Durchwärmung der Querschnitte (kleine Massigkeit) wird durch etwas größere Achsabstände in dem Entwurf der Bemessungstabelle der DIN 4102-4 / -22 im Vergleich zu den Werten in der Bemessungstabelle 5.2a der prEN 1992-1-2 ausgeglichen.

Im Bereich kleiner Feuerwiderstandsdauern ( $< 60 \text{ min}$ ) ergibt sich die Mindestquerschnittsbreite aus den Vorgaben der Bemessungsnorm bei Normaltemperatur (s. Abschnitt 6.3).

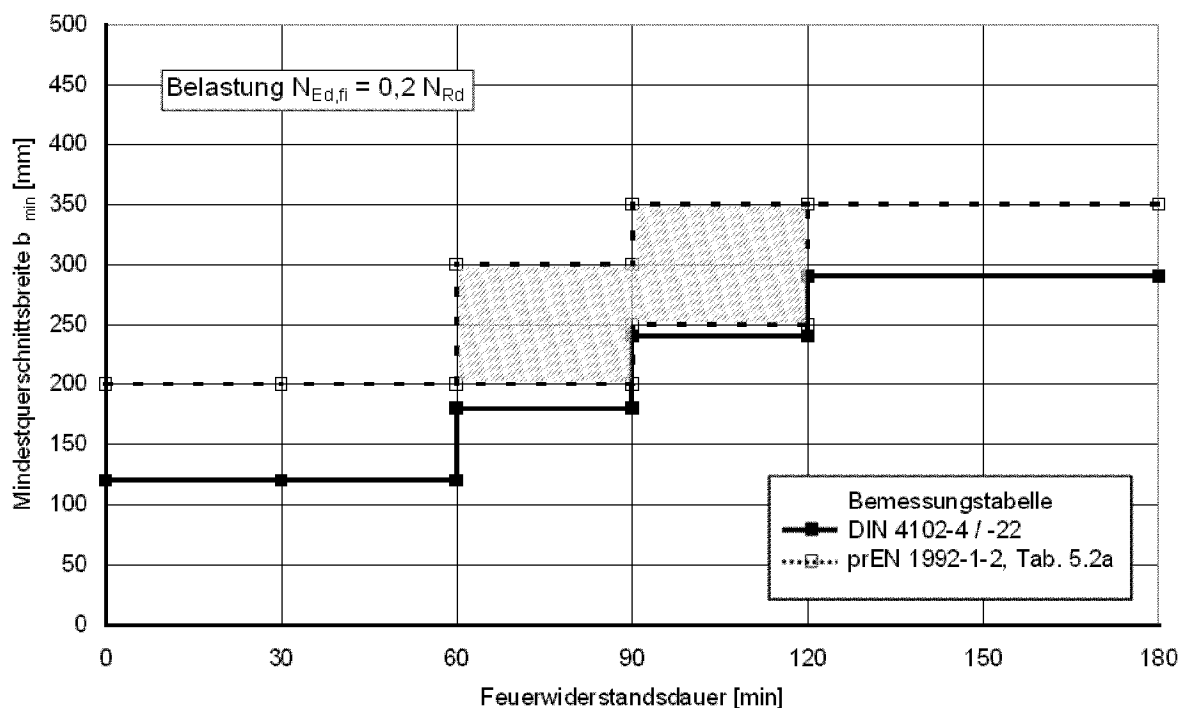


Bild 7.2 Vergleich der Mindestquerschnittsbreite  $b_{\min}$  in dem Entwurf der Bemessungstabelle von DIN 4102-4/-22 und in der Bemessungstabelle 5.2a der prEN 1992-1-2 für die Belastung im Brandfall  $N_{Ed,fi} = 0,2 \cdot N_{Rd}$

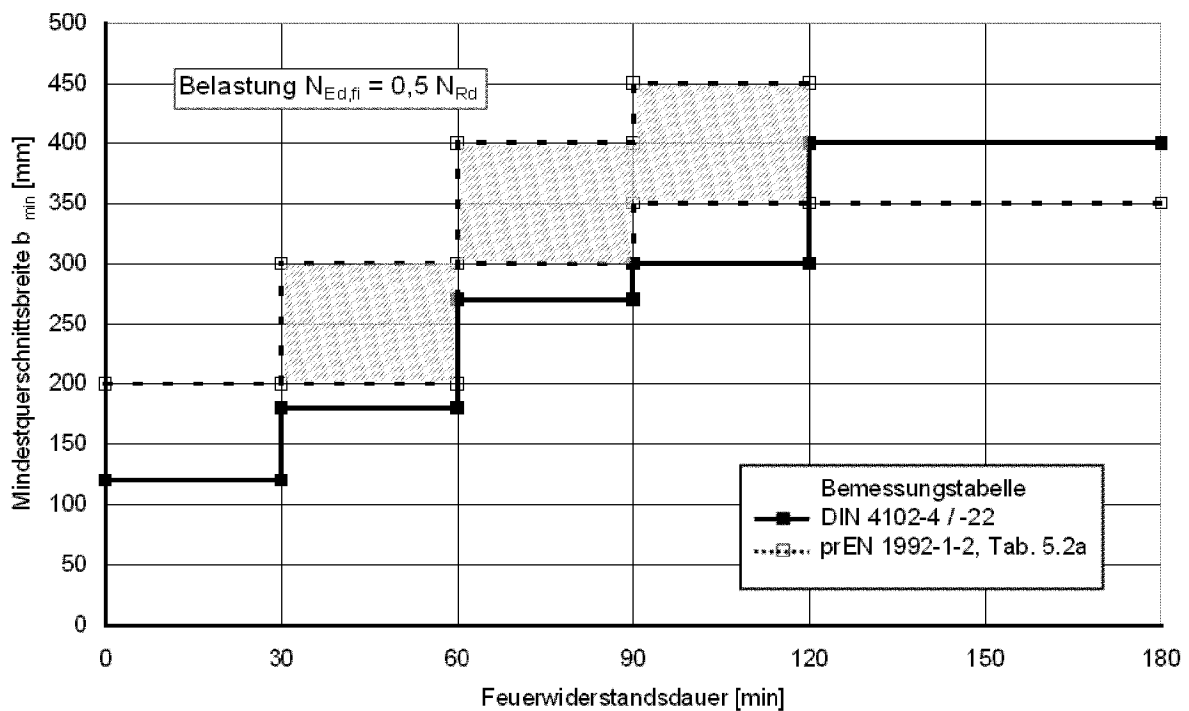


Bild 7.3 Vergleich der Mindestquerschnittsbreite  $b_{min}$  in dem Entwurf der Bemessungstabelle von DIN 4102-4/-22 und in der Bemessungstabelle 5.2a der prEN 1992-1-2 für die Belastung im Brandfall  $N_{Ed,fi} = 0,5 \cdot N_{Rd}$

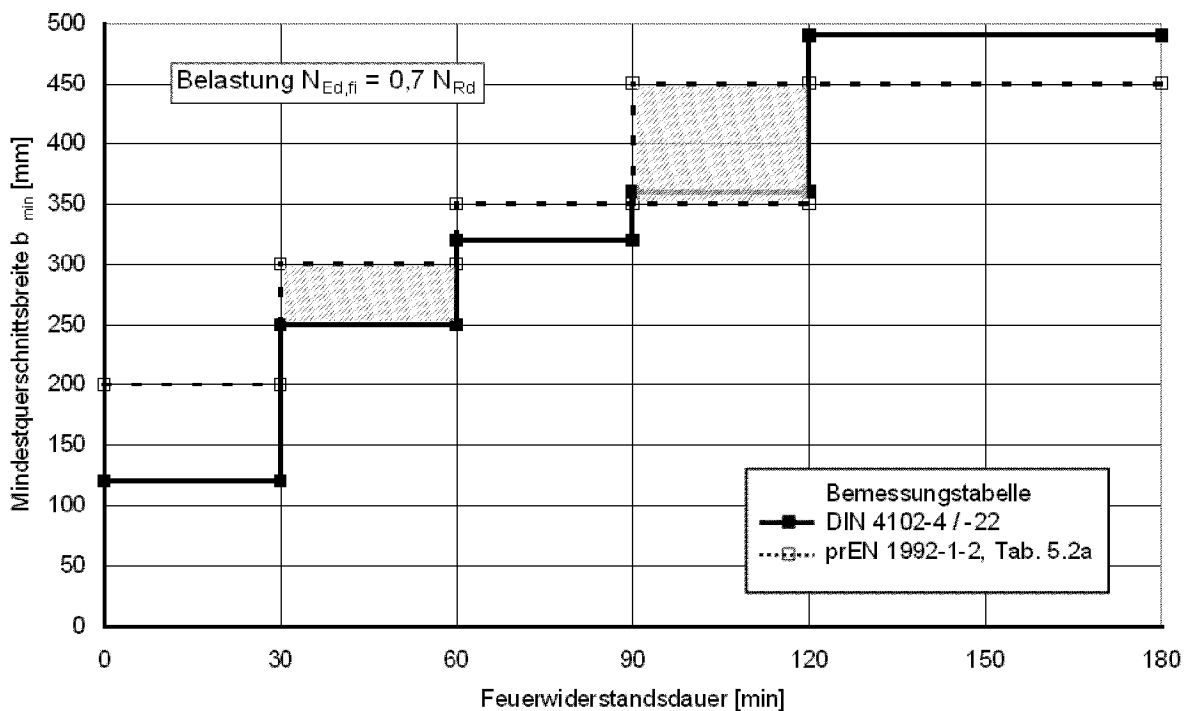


Bild 7.4 Vergleich der Mindestquerschnittsbreite  $b_{min}$  in dem Entwurf der Bemessungstabelle von DIN 4102-4/-22 und in der Bemessungstabelle 5.2a der prEN 1992-1-2 für die Belastung im Brandfall  $N_{Ed,fi} = 0,7 \cdot N_{Rd}$



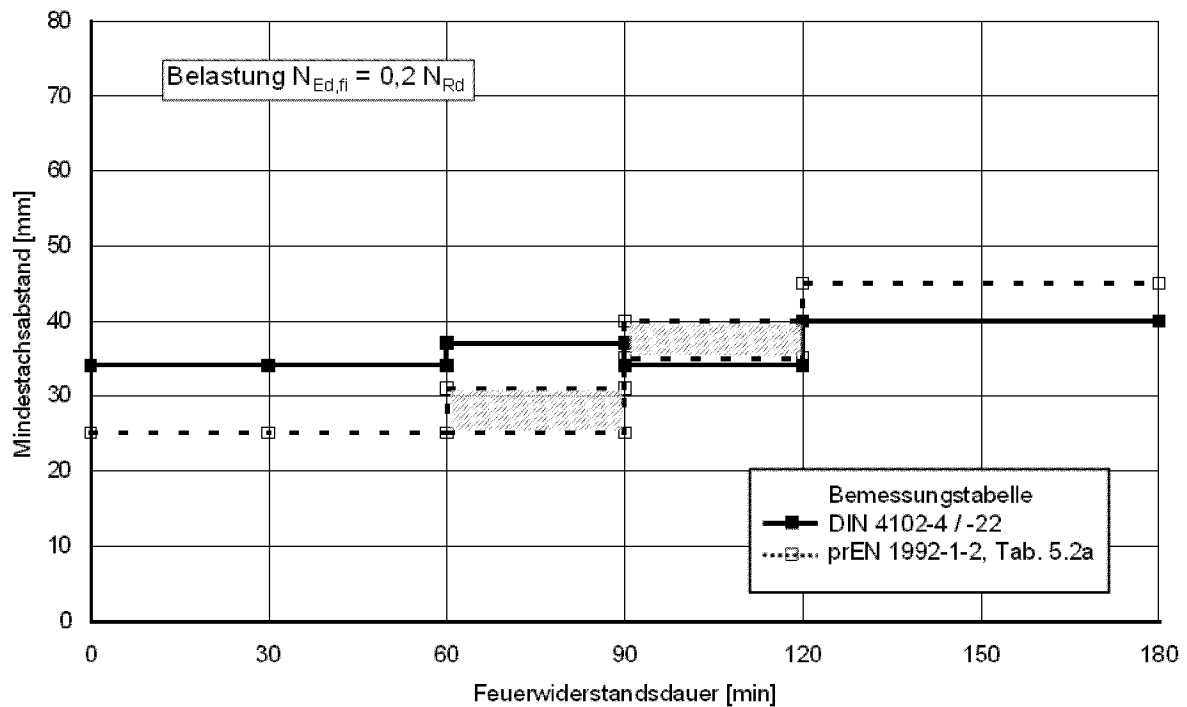


Bild 7.5 Vergleich der Mindestachsabstände  $u$  bzw.  $a$  in dem Entwurf der Bemessungstabelle von DIN 4102-4/-22 und in der Bemessungstabelle 5.2a der prEN 1992-1-2 für die Belastung im Brandfall  $N_{Ed,fi} = 0,2 \cdot N_{Rd}$

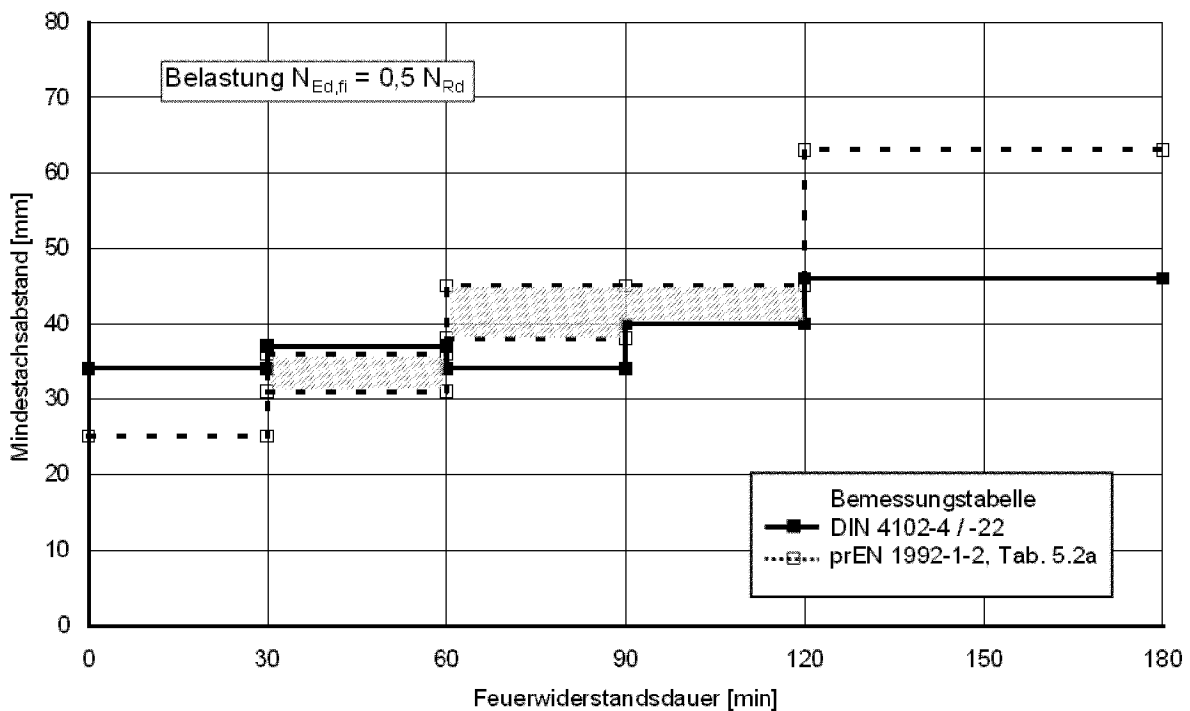


Bild 7.6 Vergleich der Mindestachsabstände  $u$  bzw.  $a$  in dem Entwurf der Bemessungstabelle von DIN 4102-4/-22 und in der Bemessungstabelle 5.2a der prEN 1992-1-2 für die Belastung im Brandfall  $N_{Ed,fi} = 0,5 \cdot N_{Rd}$

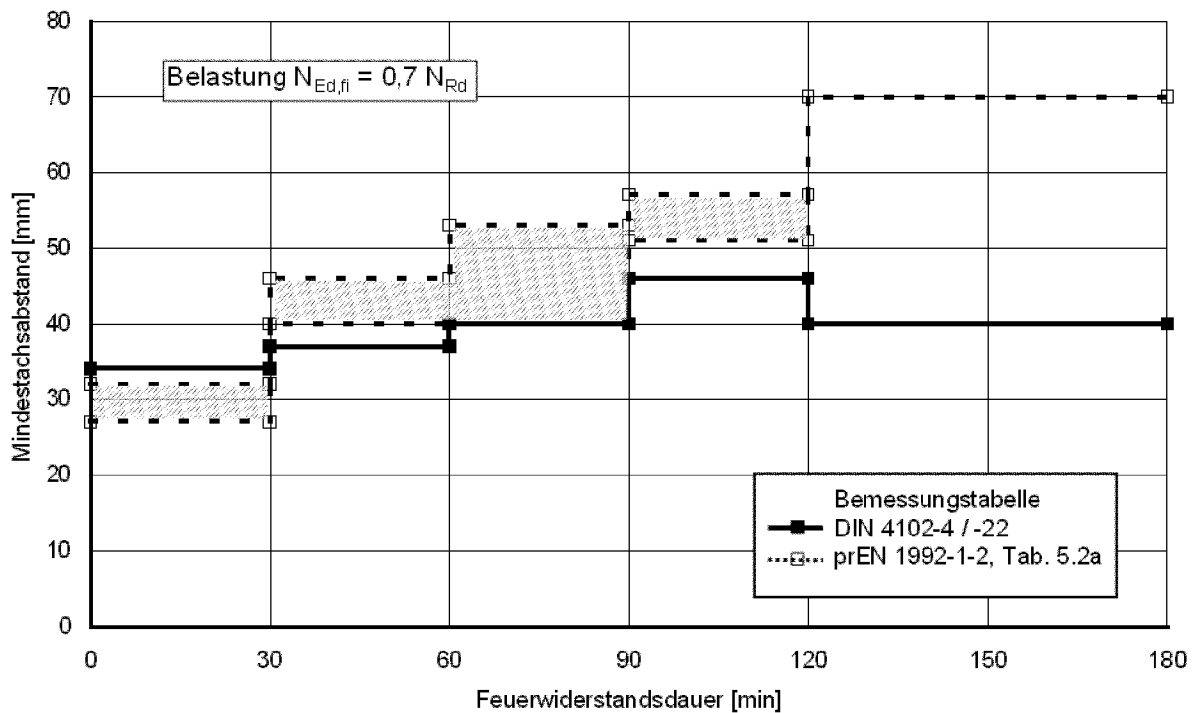


Bild 7.7 Vergleich der Mindestachsabstände  $u$  bzw.  $a$  in dem Entwurf der Bemessungstabelle von DIN 4102-4/-22 und in der Bemessungstabelle 5.2a der prEN 1992-1-2 für die Belastung im Brandfall  $N_{Ed,fi} = 0,7 \cdot N_{Rd}$

## 7.2.2 Methode A: Gleichung (5.6)

Neben dem brandschutztechnischen Nachweis der Mindestquerschnittsbreite und dem Mindestachsabstand mit Hilfe von Tabelle 5.2a ermöglicht prEN 1992-1-2 die Berechnung der vorhandenen Feuerwiderstandsdauer mit Gleichung (5.6) der Norm. Die Gleichung basiert auf der Auswertung von insgesamt 82 Brandversuchen mit Stahlbetonstützen in Belgien [22], Kanada [23] und Deutschland ([11], [24]). In [25] sind die Grundlagen für Gleichung (5.6) zusammen mit den Stützenparametern veröffentlicht.

Gleichung (5.6), im Forschungsbericht als Gleichung (7.1) wiedergegeben, beschreibt die vorhandene Feuerwiderstandsdauer  $R_f$  der Stahlbetonstütze in Abhängigkeit der Lastausnutzung  $R_{f,v}$ , des Achsabstandes  $R_{f,a}$ , der Ersatzlänge im Brandfall  $R_{f,L}$ , des Betonquerschnitts  $R_{f,b'}$  und der Bewehrungsmenge  $R_{f,n}$ ; die Berechnung der Parameter  $R_{f,i}$  wird in [9] und [25] beschrieben.

$$R_f = 120 \cdot \left[ \frac{R_{f,v} + R_{f,a} + R_{f,L} + R_{f,b'} + R_{f,n}}{120} \right]^{1,8} \quad (7.1)$$

In den Bildern 7.8 und 7.9 werden die Feuerwiderstandsdauern nach Gleichung 7.1 ( $\equiv$  prEN 1992-1-2 Gl. (5.6)) und die in den Brandversuchen gemessenen Branddauern gegenübergestellt. Zusätzlich sind in den Bildern die Feuerwiderstands- und Branddauern eingetragen, die sich für die Mindestquerschnittsbreiten  $b_{\min}$  und den Mindestachsabständen  $u$  des Entwurfs der Bemessungstabelle von DIN 4102-4 / -22 (Bild 6.5) nach Gleichung 7.1 bzw. mit der programmgesteuerten Berechnung mit STABA-F ergeben.

Der Mittelwert aus dem Verhältnis zwischen berechneten und gemessenen Branddauern beträgt 1,01 bei einer Standardabweichung von 0,23. Annähernd die gleichen Werte ergeben sich für die Mindestquerschnittswerte aus dem Entwurf der Bemessungstabelle von DIN 4102-4 / -22 mit dem Mittelwert 0,95 und der Standardabweichung 0,20.

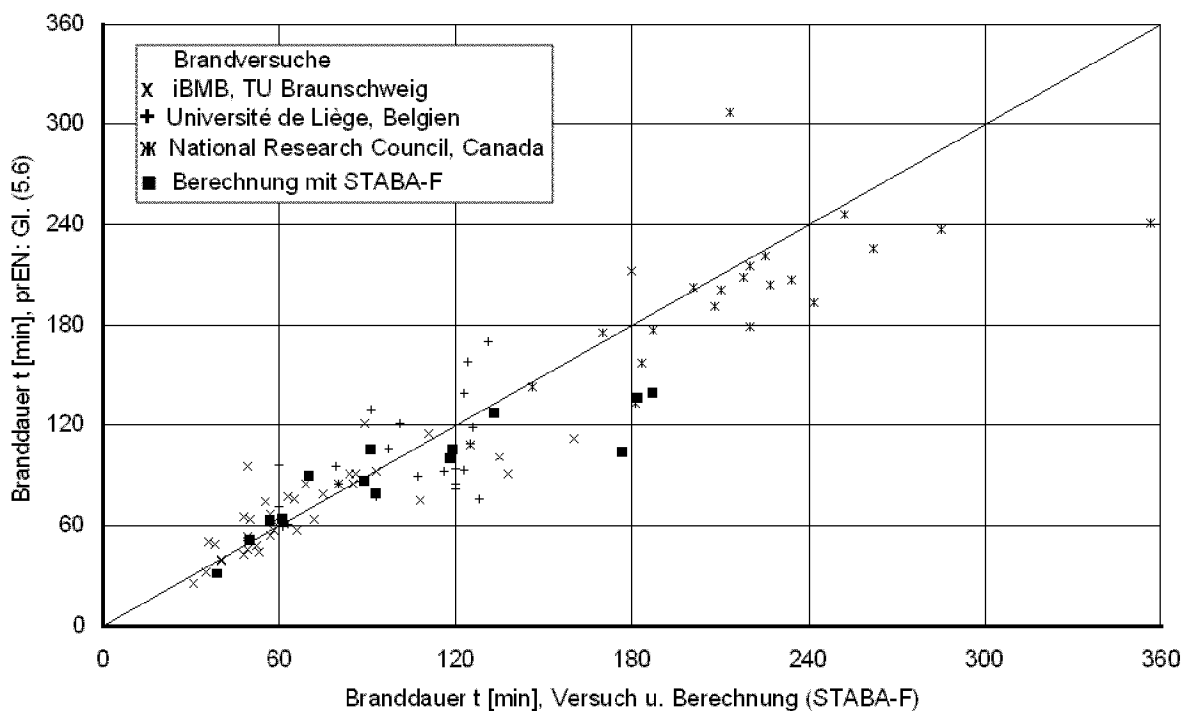


Bild 7.8

Vergleich der Branddauern:

a) mit Gleichung (5.6) der prEN 1992-1-2 berechnet und in Brandversuchen gemessen

b) mit Gleichung (5.6) der prEN 1992-1-2 für die Mindestquerschnittsabmessungen in dem Entwurf der Bemessungstabelle von DIN 4102-4 / -22 und mit dem programmgesteuerten Rechenverfahren berechnet

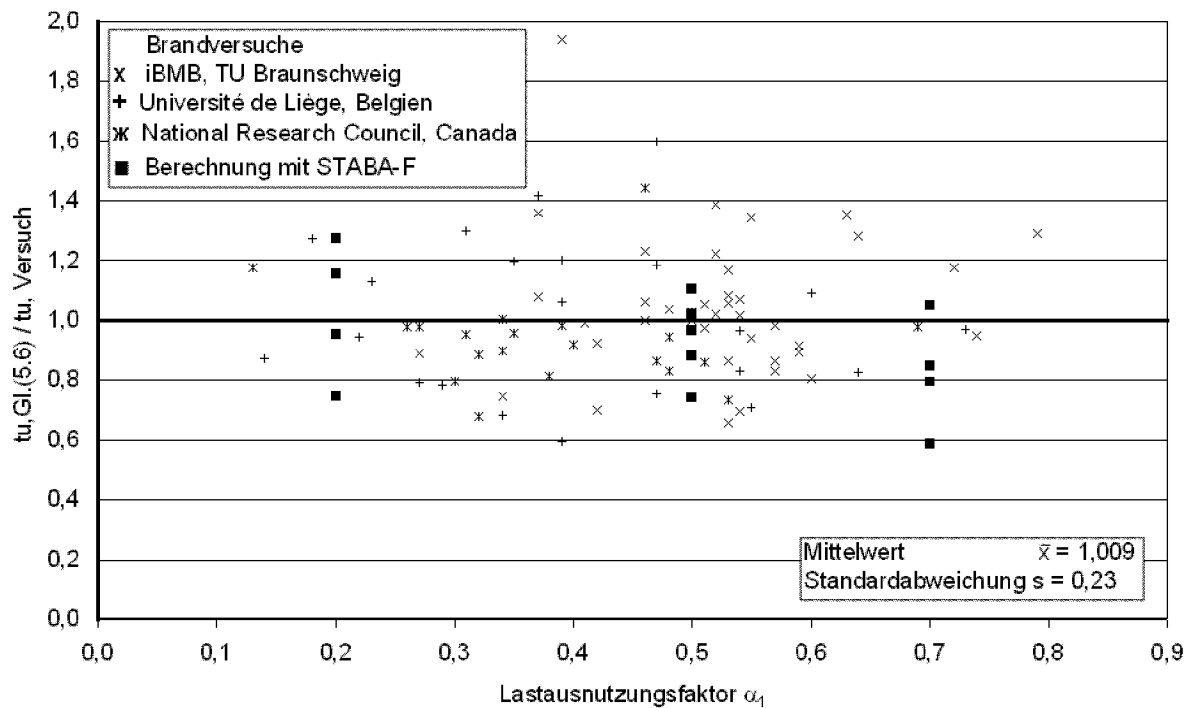


Bild 7.9

Branddauern in Abhängigkeit des Lastausnutzungsfaktors  $\alpha_1 = N_{Ed,fi} / N_{Rd}$

a) Verhältnis der mit Gleichung (5.6) der prEN 1992-1-2 berechneten und der im Brandversuch gemessenen Branddauern

b) Verhältnis der mit Gleichung (5.6) der prEN 1992-1-2 für die Mindestquerschnittsabmessungen in dem Entwurf der Bemessungstabelle von DIN 4102-4 / -22 berechneten und der mit dem programmgesteuerten Rechenverfahren ermittelten Branddauern

## 8 ZUSAMMENFASSUNG

Im vorliegenden Forschungsvorhaben wurde für die tabellierte brandschutztechnische Bemessung Mindestquerschnittsabmessungen von Stahlbetonstützen ermittelt, die an das Bemessungskonzept der DIN 1045-1 angepasst sind. Als Mindestquerschnittsabmessungen wurden die Mindestquerschnittsbreite  $b_{\min}$  und der Mindestachsabstand  $a$  definiert. Die Mindestquerschnittsabmessungen ersetzen die Werte in Tabelle 31 von DIN 4102-4, die auf Grundlage der „alten“ DIN 1045 festgelegt wurden.

Die Mindestquerschnittsabmessungen wurden für die Feuerwiderstandsklassen R 30, R 60, R 90, R 120 und R 180 in Abhängigkeit der Lastausnutzungsfaktoren  $\alpha_1 = 0,2$ ,  $\alpha_1 = 0,5$  und  $\alpha_1 = 0,7$  bestimmt. Der Lastausnutzungsfaktor  $\alpha_1$  stellt das Verhältnis des Bemessungswertes der Längskraft im Brandfall  $N_{Ed,fi}$  zum Bemessungswert des Bauteilwiderstandes bei Normaltemperatur  $N_{Rd}$  dar. Mit dem Lastausnutzungsfaktor  $\alpha_1 = 0,7$  wird die maximale Beanspruchung im Brandfall erfasst. Dadurch entfällt bei der brandschutztechnischen Bemessung, die auf den im Forschungsvorhaben ermittelten Mindestquerschnittsabmessungen basiert, die in DIN 4102-22, Gleichung (7.1) vorgenommene Vergrößerung der Beanspruchung um den Faktor  $\alpha^* \leq 2,0$ .

Der Bemessungswert des Bauteilwiderstandes bei Normaltemperatur  $N_{Rd}$  wurde nach DIN 1045-1, Abschnitt 8.6.1 (7) programmgesteuert aus der Querschnittstragfähigkeit und den Verformungen nach Theorie 2. Ordnung mittels nichtlinearer Strukturanalyse ermittelt. Dadurch kann die Tabelle auch für Fälle angewendet werden, bei denen für die Schnittgrößenermittlung bei Normaltemperatur nichtlineare Verfahren benutzt werden.

Für die Berechnung der Tragfähigkeit bei Brandeinwirkung wurde das Computerprogramm STABA-F eingesetzt, das in der thermischen Analyse die Entwicklung und Verteilung der Bauteiltemperaturen berechnet und in der mechanischen Analyse das Tragwerks- und Bauteilverhalten unter Berücksichtigung der mechanischen Einwirkungen, der geometrischen Imperfektionen, der Wärmeeinwirkungen auf die temperaturabhängigen thermo-mechanischen Werkstoffeigenschaften und der geometrisch nichtlinearen Effekte (Theorie II. Ordnung) ermittelt.

Die tabellierten Stützenquerschnitte wurden abschließend mit Tabellenwerten aus der prEN 1992-1-2 und die programmgesteuert berechneten Feuerwiderstandsdauern mit Ergebnissen von 82 Brandversuchen verglichen. Aufgrund der guten Übereinstimmung in beiden Vergleichen können die im vorliegenden Forschungsvorhaben ermittelten Mindestquerschnittsab-

messungen für die tabellierte brandschutztechnische Bemessung von Stahlbetonstützen, die bei Normaltemperatur nach DIN 1045-1 bemessen wurden, eingesetzt werden.

## 9 LITERATUR

- [1] DIN 4102 Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen  
Teil 4: Zusammenstellung und Anwendung klassifizierter Baustoffe, Bauteile und Sonderbauteile. März 1994.  
Teil 22: Anwendungsnorm zur DIN 4102-4 auf der Bemessungsbasis von Teilsicherheitsbeiwerten. November 2004.  
Teil 4/A1: Änderungen zur DIN 4102-4: 1994-03. November 2004.
- [2] DIN 1045: Beton und Stahlbeton, Bemessung und Ausführung. Juli 1988.
- [3] DIN 1045-1: Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton. Teil 1: Bemessung und Konstruktion. Juli 2001.
- [4] Richter, E.; Hosser, D.: Brandverhalten von Beton-, Stahlbeton- und Spannbetonbauteilen nach deutschen und europäischen Normen. Bauingenieur Band 77, Heft Juli/August 2002, Springer VDI Verlag, München.
- [5] Vornorm DIN V ENV 1992-1-2: Eurocode 2 „Planung von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken“. Teil 1-2: Allgemeine Regeln – Tragwerksbemessung für den Brandfall. Mai 1997.
- [6] DIN Fachbericht 92: Nationales Anwendungsdokument (NAD): Richtlinie zur Anwendung von DIN V ENV 1992-1-2, Beuth Verlag, Berlin 2000.
- [7] DIBt-Richtlinie zur Anwendung von DIN V ENV 1992-1-2 in Verbindung mit DIN 1045-1. In: DIBt Mitteilungen, Heft 2. Berlin 2002.
- [8] Hosser, D.; Richter, E.: Hintergrundinformationen zum Eurocode 2 Teil 1-2: Tragwerksbemessung für den Brandfall. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der TU Braunschweig, Oktober 2000. Forschungsbericht, Deutscher Beton- und Technik-Verein E.V.
- [9] prEN 1992-1-2: Eurocode 2 Design of concrete structures – Part 1.2: General rules – structural fire design. July 2003.
- [10] DIN 1055-100 Einwirkungen auf Tragwerke, Teil 100: Grundlagen der Tragwerksplanung, Sicherheitskonzept und Bemessungsregeln. Ausgabe März 2001/1.
- [11] Hass, R.: Zur praxisgerechten brandschutztechnischen Beurteilung von Stützen aus Stahl und Beton. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz (iBMB) der Technischen Universität Braunschweig, Heft 69, 1986.
- [12] DIBt Mitteilungen Heft 1, Berlin 2002
- [13] Kordina, K.; Quast, U.: Bemessung von schlanken Bauteilen für den durch Tragwerksverformungen beeinflussten Grenzzustand der Tragfähigkeit - Stabilitätsnachweis. Betonkalender 2002, Teil 1, S. 361-434, Berlin: Ernst & Sohn, 2002.
- [14] Kleinschmitt, J.: Die Berechnung von Stahlbetonstützen nach DIN 1045-1 mit nichtlinearen Verfahren. Beton- und Stahlbeton 100, Heft 2, 2005.

- [15] Zilch, K.; Rogge, A.: Bemessung von Stahlbeton- und Spannbetonbauteilen im Brücken- und Hochbau. Betonkalender 2004, Teil 2, S. 221-373. Berlin: Ernst Sohn, 2004.
- [16] Quast, U.: Stützenbemessung. Betonkalender 2004, Teil 2, S. 375-448, Berlin: Ernst & Sohn, 2004.
- [17] Quast, U.; Hass, R.; Rudolph, K.: STABA-F – Berechnung des Trag- und Verformungsverhaltens von einachsig gespannten Bauteilen unter Feuerangriff. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz (iBMB) der Technischen Universität Braunschweig, 1984
- [18] Becker, J.; Bizri, H.; Bresler, B.: FIRES-T, A Computer Program for the Fire response of Structural-Thermal. Report No. USB FRG 74-1, Fire Research Group, department of Civil Engineering, University of California, Berkeley, 1974.
- [19] Kordina, K.; Meyer-Ottens, C.: Beton Brandschutz Handbuch. 2. Auflage, Verlag Bau + Technik, Düsseldorf, 1999
- [20] DIN EN 1991-1-2 Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke, Teil 1-2: Allgemeine Einwirkungen, Brandeinwirkungen auf Tragwerke. Deutsche Fassung von EN 1991-1-2:2002.
- [21] Richter, E.: Zur Berechnung der Biegetragfähigkeit brandbeanspruchter Spannbetonbauteile unter Berücksichtigung geeigneter Vereinfachungen für die Materialgesetze. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der TU Braunschweig, Heft 80, 1987.
- [22] Dotreppe, J.-C.; Baus, R.; Franssen, J.-M.; Brüls, A.; Vanderzeypen, Y.: Dimensionnement des colonnes en béton et armé en considérant le problème de la résistance au feu. Rapport de Clôture, Convention F.R.F.C. No. 29010.90/F, Service des Ponts et Charpentes, Université de Liège, 1995.
- [23] Lie, T. T.; Woolerton, J. L.: Fire resistance of reinforced concrete columns – Test results. Int. Report No. 569, National Research Council, Institute for Research in Construction, Ottawa, 1988.
- [24] Walter, R.: Brandversuche an Stahlbetonstützen ohne Längsdehnungsbehinderung. Bericht aus dem Sonderforschungsbereich 148 „Brandverhalten von Bauteilen“ der Technischen Universität Braunschweig. Institutsinterner Arbeitsbericht, Braunschweig, 1977
- [25] Franssen, J.-M.: Design of concrete columns based on EC2 tabulated data – a critical review. Third International Workshop “Structures in Fire”. Proceedings. Ottawa, May 2004.

## ANHANG

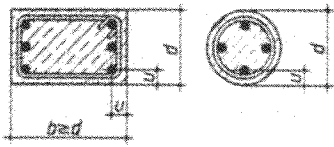
Zeile	Konstruktionsmerkmale 	Feuerwiderstandsklasse – Benennung				
		R 30	R 60	R 90	R 120	R 180
1	Mindestquerschnittsabmessungen, Belastung im Brandfall und Bewehrung unbedeckter Stahlbetonstützen bei mehrseitiger Brandbeanspruchung bei einem					
1.1	<b>Ausnutzungsfaktor <math>\alpha_1 = 0,2</math></b>					
1.1.1	Mindestdicke d in mm	120	120	180	240	290
1.1.2	zugehöriger Mindestachsabstand u in mm	34	34	37	34	40
1.1.3	Belastung $N_{Ed,fi}$ in kN	-12,2	-12,2	-65,0	-168,6	-268,4
1.1.4	Bewehrung tot $A_s$ in mm <sup>2</sup>	452,4	452,4	615,8	1131,0	1608,5
1.1.5	tot n und $\varnothing_s$ in mm	4 $\varnothing$ 12	4 $\varnothing$ 12	4 $\varnothing$ 14	10 $\varnothing$ 12	8 $\varnothing$ 16
1.2	<b>Ausnutzungsfaktor <math>\alpha_1 = 0,5</math></b>					
1.2.1	Mindestdicke d in mm	120	180	270	300	400
1.2.2	zugehöriger Mindestachsabstand u in mm	34	37	34	40	46
1.2.3	Belastung $N_{Ed,fi}$ in kN	-30,5	-162,5	-560,0	-709,0	-1421,0
1.2.4	Bewehrung tot $A_s$ in mm <sup>2</sup>	452,4	615,8	1357,2	1608,5	3141,6
1.2.5	tot n und $\varnothing_s$ in mm	4 $\varnothing$ 12	4 $\varnothing$ 14	12 $\varnothing$ 12	8 $\varnothing$ 16	10 $\varnothing$ 20
1.3	<b>Ausnutzungsfaktor <math>\alpha_1 = 0,7</math></b>					
1.3.1	Mindestdicke d in mm	120	250	320	360	490
1.3.2	zugehöriger Mindestachsabstand u in mm	34	37	40	46	40
1.3.3	Belastung $N_{Ed,fi}$ in kN	-42,7	-654,5	-1201,2	-1561,0	-3010,0
1.3.4	Bewehrung tot $A_s$ in mm <sup>2</sup>	452,4	1231,5	2010,6	2513,3	4423,4
1.3.5	tot n und $\varnothing_s$ in mm	4 $\varnothing$ 12	8 $\varnothing$ 14	10 $\varnothing$ 16	8 $\varnothing$ 20	22 $\varnothing$ 16

Bild A1 Erweiterte Bemessungstabelle (Entwurf) für unbedeckte Stahlbetonstützen bei mehrseitiger Brandbeanspruchung; Bemessung der Stützen bei Normaltemperatur nach DIN 1045-1