

Erweiterte Zonenmethode zur brandschutztechnischen Bemessung von Stahlbetonstützen

K. Zilch, A. Müller, C. Reitmayer

282

Stahlbetonbau • Brandschutz • Bemessung

Zusammenfassung Im Jahr 2011 wird in Deutschland voraussichtlich der Brandschutzteil des Eurocodes 2 [1] und der entsprechende Nationale Anhang bauaufsichtlich eingeführt [2]. Der Nationale Anhang wird die Anwendung der Zonenmethode (vereinfachtes Rechenverfahren) zulassen, jedoch bei überwiegend druckbeanspruchten Bauteilen eine Modifikation des Verfahrens fordern. Mit dem Ziel auch künftig die Anwendbarkeit der Zonenmethode in Hinblick auf die brandschutztechnische Bemessung von Stahlbetonstützen zu gewährleisten, wird in diesem Beitrag eine Möglichkeit zur Modifizierung des Verfahrens vorgestellt und beurteilt. Hierfür werden drei, im üblichen Hochbau zur Anwendung kommende Kragstützen brandschutztechnisch bemessen. Anhand eines Ergebnisabgleichs zwischen der erweiterten Zonenmethode und dem allgemeinen Rechenverfahren wird abschließend die Bewertung des vorgestellten Verfahrens vorgenommen. Als Beurteilungskriterium werden neben den Traglasten $N_{Rd,fi}$ auch die zugehörigen Stützenverformungen herangezogen.

Extended zone method for the fire design of reinforced concrete columns

Abstract The fire design part of the Eurocode 2 [1] and the corresponding National Annex are expected to be introduced in Germany in 2011 [2]. The National Annex will allow the use of the zone method (simplified analysis method) but requiring a modification of this method for elements predominantly loaded in compression. The aim of this article is to provide and evaluate a modification of the zone method to ensure its future application for the fire design of reinforced concrete columns. The fire designs of 3 typical cantilever columns are used as references for the proposed modification. With the comparison of the results of the extended zone method and the advanced analysis method the proposed procedure will finally be evaluated. The axial load capacities as well as the deflections of the columns are used as validation criteria.

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Dr.-Ing. E.h. Konrad Zilch

em. Ordinarius für Massivbau
Technische Universität München
Geschäftsführender Gesellschafter
Zilch-Müller-Hennecke GbR, München

Dr.-Ing. André Müller

Geschäftsführender Gesellschafter
Zilch + Müller Ingenieure GmbH, München

Dipl.-Ing. Claudia Reitmayer

Projektingenieurin
Zilch + Müller Ingenieure GmbH, München

1 Einführung und Zielsetzung

In Deutschland ist für den Brandfall die Bemessung von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken mit Hilfe von Rechenverfahren in der Vornorm DIN V ENV 1992-1-2 [3] in Verbindung mit dem Nationalen Anwendungsdokument geregelt. Im September 2007 wurde der DIN-Fachbericht 92 [4] als Nationales Anwendungsdokument in die Musterliste der Technischen Baubestimmungen [5] aufgenommen. Dieses Anwendungsdokument ermöglicht, im Gegensatz zu seinem Vorläufer [6], die Anwendung der Zonenmethode für Biege- und Druckglieder. Dieses vereinfachte Rechenverfahren nimmt insbesondere in Hinblick auf Kragstützen einen wichtigen Stellenwert ein, da aufgrund der verschieblichen Lagerung des Stützenkopfes die Tabelle 31 der DIN 4102 Teil 22 [7] keine Anwendung findet. Gegenüber den allgemeinen Rechenverfahren weist die Zonenmethode den Vorteil auf, dass auf die Durchführung einer thermischen Analyse verzichtet werden darf und somit die brandschutztechnische Bemessung unter Anwendung von praxisüblichen Stützenbemessungsprogrammen mit geringem Zeitaufwand durchgeführt werden kann, soweit diese eine anwendergesteuerte Definition von Materialeigenschaften zulassen. Dies stellt einerseits die Praxistauglichkeit und andererseits die Nachvollziehbarkeit des Bemessungsverfahrens sicher. In absehbarer Zeit wird die Vornorm [3] durch den Eurocode DIN EN 1992-1-2 [1] abgelöst werden. Der zugehörige Nationale Anhang wird bei Anwendung der Zonenmethode für überwiegend auf Druck beanspruchte Bauteile eine Modifizierung des Verfahrens fordern. Nach Meinung der Autoren ist eine Anpassung des Verfahrens erforderlich, um die Anwendungssicherheit der Zonenmethode zu gewährleisten. In diesem Beitrag wird daher eine von den Verfassern entwickelte und durch Untersuchungen [8] verifizierte Anpassung der Zonenmethode vorgestellt und diskutiert.

2 Grundlagen der erweiterten Zonenmethode

Um der künftigen Forderung nach einer Modifizierung der Zonenmethode für Druckglieder nachzukommen, wird anschließend ein vereinfachtes Rechenverfahren für die brandschutztechnische Bemessung von Stahlbetonstützen in Anlehnung an die Zonenmethode gemäß DIN EN 1992-1-2 [1] vorgestellt. In diesem Verfahren wird von der Plastizitätstheorie abgerückt, indem temperaturabhängige Arbeitslinien und die sich im Brandfall einstellenden thermischen Dehnungen in Ansatz gebracht werden. Diese Methode, die im Folgenden als erweiterte Zonenmethode bezeichnet wird, wurde bereits in einem von den Autoren durchgeführten Forschungsvorhaben [8] mit Hilfe einer Parameterstudie verifiziert. Hierfür wurde die Parametrisierung einer Kragstütze im Hinblick auf die Belastung, die Stützenschlankheit und die Beflammungsart (vierseitig und dreiseitig) für die Feuerwiderstandsklasse R90

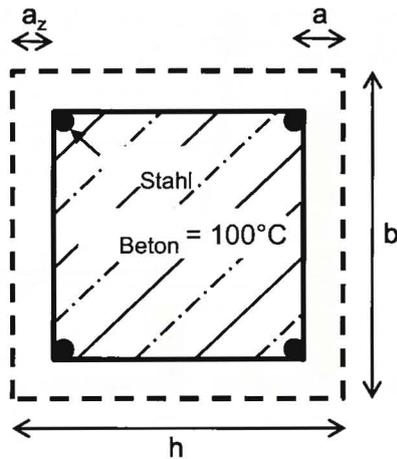


Bild 1. Querschnitt
Fig. 1. Cross section

vorgenommen. Die brandschutztechnische Bemessung sämtlicher Stützenvariationen wurde sowohl unter Anwendung der erweiterten Zonenmethode als auch mit Hilfe des allgemeinen Rechenverfahrens gemäß DIN (V) EN(V) 1992-1-2 [1; 3] durchgeführt. Basierend auf einem Ergebnisabgleich der beiden Rechenverfahren konnte festgestellt werden, dass der Ansatz von Imperfektionen für die Anwendungssicherheit der erweiterten Zonenmethode von wesentlicher Bedeutung ist. Dementsprechend wird sich die Einführung des Eurocodes DIN EN 1992-1-1 [9] positiv auf die Anwendungssicherheit der erweiterten Zonenmethode auswirken, da im Gegensatz zur aktuell gültigen DIN 1045-1 [10] künftig auch für die außergewöhnliche Einwirkungskombination der Ansatz der „kalten“ Imperfektion gefordert werden wird (siehe auch Punkt 2.4).

2.1 Querschnitt

Gemäß DIN EN 1992-1-2 [1] ist bei Anwendung der Zonenmethode der brandgeschädigte Querschnitt mit Hilfe eines reduzierten Querschnitts abzubilden. Hierdurch wird sowohl der verminderten Druckfestigkeit als auch der reduzierten Biegesteifigkeit des erwärmten Querschnitts Rechnung getragen. Zur Ermittlung des Reduktionsmaßes a_z für Stützen kann vereinfachend das Diagramm Bild B.5c des Eurocodes [1] herangezogen werden.

2.2 Materialdefinition

Die Zonenmethode im ursprünglichen Sinn stellt ein Verfahren der Plastizitätstheorie dar. Demzufolge werden statt Material-Arbeitslinien dehnungsunabhängige Materialfestigkeiten in Ansatz gebracht. Für überwiegend druckbeanspruchte Bauteile spielen jedoch die Verformungen des Bauteils, insbesondere in Hinblick auf die Bemessung nach Theorie II. Ordnung, eine entscheidende Rolle. Aufgrund dessen wird zur genaueren Abbildung des Materialverhaltens bei Anwendung der erweiterten Zonenmethode die Definition von temperaturabhängigen Spannungs-Dehnungs-Linien vorgesehen.

Die im Restquerschnitt anzusetzende Betontemperatur kann mit Hilfe des Abminderungsfaktors $k_c(\Theta_M)$ bestimmt werden. Der Faktor $k_c(\Theta_M)$ gibt für den Dauerstandsfaktor $\alpha = 1,0$ und den Material sicherheitsbeiwert $\gamma_M = 1,0$ das Verhältnis von $f_{cd}(\Theta)$ zu $f_{ck}(20^\circ\text{C})$ wieder und kann aus dem Diagramm Bild B.5a [1] in Abhängigkeit der Stützenabmessungen und

der Feuerwiderstandsklasse abgelesen werden. Entsprechend Bild B.5a [1] kann für einen Großteil der praxisrelevanten Stützen von einem Faktor $k_c(\Theta_M) = 1,0$ ausgegangen werden. Es wird empfohlen für $k_c(\Theta_M) = 1,0$ die Festigkeits- und Verformungseigenschaften des Betons auf der sicheren Seite liegend unter einer erhöhten Temperatur von 100°C [11] in der Arbeitslinie zu berücksichtigen.

Zur Ermittlung der vorliegenden Betonstahltemperaturen können die Temperaturprofile des Eurocodes [1] herangezogen werden. Für die Ermittlung der temperaturabhängigen Spannungs- Dehnungs-Beziehungen unterscheidet der Eurocode 2 [1] warmgewalzten und kaltverformten Betonstahl. Kaltverformter Betonstahl weist im relevanten Temperaturbereich höhere Festigkeitsverluste auf als warmgewalzter Betonstahl. Liegt demzufolge kein Herstellungsnachweis vor, wird empfohlen von kaltverformtem Betonstahl auszugehen [11].

2.3 Thermische Dehnungen

Durch die erhöhte Temperatur im Brandfall stellen sich sowohl im Beton als auch im Betonstahl thermische Dehnungen ein, die vor allem bei Berechnungen nach Theorie II. Ordnung nicht vernachlässigt werden dürfen. Die thermischen Dehnungen können sich im Brandfall nicht frei einstellen, da sich die benachbarten Querschnittsbereiche gegenseitig beeinflussen. Bei üblichen Stützenabmessungen kann von einem Ebenbleiben des Stützenquerschnitts ausgegangen werden. Die hierbei entstehenden Zwangsspannungen werden im Rahmen der erweiterten Zonenmethode durch das Verschieben der Arbeitslinien um das Maß der thermischen Dehnung berücksichtigt. Bei dreiseitig beflamten Stützen entsteht aufgrund des innerhalb des Querschnitts auftretenden Temperaturgradienten zusätzlich eine Verkrümmung, die für symmetrisch bewehrte Querschnitte durch den Ansatz einer Kopfverformung entsprechend Gl. (1) berücksichtigt werden kann.

$$w = \frac{1}{2} \cdot (l_{col})^2 \cdot \kappa \quad \text{mit} \quad (1)$$

$$\kappa = \left| \frac{\varepsilon_s(\Theta_1) - \varepsilon_s(\Theta_2)}{h - 2a} \right| \quad \text{wobei} \quad (1a)$$

- $\varepsilon_s(\Theta_1)$ thermische Dehnung des Betonstahls an der beflamten Seite
- $\varepsilon_s(\Theta_2)$ thermische Dehnung des Betonstahls an der unbeflammten Seite
- a Achsabstand des Betonstahls

2.4 Imperfektion

Gemäß DIN 1045-1 [10] müssen Imperfektionen für die außergewöhnliche Einwirkungskombination und dementsprechend für den Brandfall nicht berücksichtigt werden. Mit Einführung der DIN EN 1992-1-2 [1] wird jedoch die deutsche Kaltbemessungsnorm DIN 1045-1 [10] durch den Eurocode DIN EN 1992-1-1 [9] abgelöst werden. Hierbei wird eine wesentliche Änderung bezüglich der Berücksichtigung von Imperfektionen stattfinden, da ungünstige Auswirkungen möglicher Abweichungen in der Tragwerksgeometrie im Grenzzustand der Tragfähigkeit für alle Einwirkungskombinationen zu berücksichtigen sein werden. Für Bauteile unter Normalkraft sind Imperfektionen gemäß DIN EN 1992-1-1 [9] im Regelfall mit Hilfe von Gl. (2) zu errechnen.

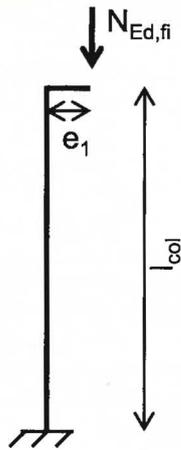


Bild 2. Statisches System
Fig. 2. Structural system

$$e_t = \theta_0 \cdot \alpha_h \cdot \alpha_m \cdot l_0 / 2 \quad (2)$$

Hierbei ist θ_0 der im Nationalen Anhang geregelte Grundwert, α_h der Abminderungsbeiwert für die Höhe, α_m der Abminderungsbeiwert für die Anzahl der Bauteile und l_0 die Knicklänge.

Dem gegenüber steht die unter Punkt 6.1 Abschnitt (4) der DIN EN 1992-1-1 [9] beschriebene Mindestlastausmitte, siehe Gl. (3), die für die Bemessung symmetrisch bewehrter Querschnitte unter Normalkraft gefordert wird. Diese Mindestanforderung wird in der Regel durch die unter Theorie II. Ordnung auftretenden Stützenverformungen erfüllt.

$$e_0 = \max \begin{cases} h/30 \\ 20 \text{ mm} \end{cases} \quad (3)$$

Hierbei ist für h die Höhe des Querschnitts anzusetzen.

3 Beispiele

Zur Verifizierung des unter Punkt 2 vorgestellten Verfahrens werden brandschutztechnische Bemessungen von Stahlbetonkragstützen durchgeführt. Die Bemessung aller Stützenvarianten wird sowohl unter Anwendung der erweiterten Zonenmethode als auch mit Hilfe des allgemeinen Rechen-

Normalkrafttragfähigkeit $N_{Rd,fi}$ [kN] und prozentuale Abweichung

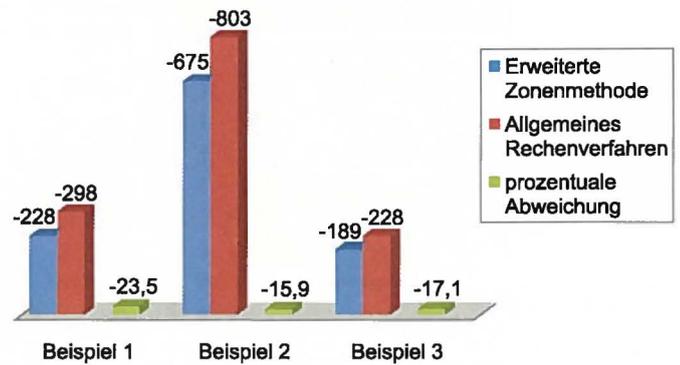


Bild 3. Vergleich der Normalkrafttragfähigkeit $N_{Rd,fi}$ [kN]
Fig. 3. Comparison of the axial load capacity $N_{Rd,fi}$ [kN]

verfahrens gemäß [1] vorgenommen. Den Bemessungen wird kaltverformter Betonstahl BST 500 S sowie ein symmetrisch bewehrter Querschnitt (Bild 1) unter vierseitiger Beflammung zu Grunde gelegt. Das statische System kann Bild 2 entnommen werden. Basierend auf einem Ergebnisabgleich wird anschließend die Eignung der erweiterten Zonenmethode in Bezug auf Druckglieder beurteilt. Als Vergleichsbasis werden sowohl die Verformungen als auch die Normalkrafttragfähigkeit $N_{Rd,fi}$, die durch eine Laststeigerung bis zum Eintritt des Versagens ermittelt wird, herangezogen.

3.1 Eingangswerte

In [12] wird von *Cylok und Achenbach* die Anwendbarkeit der Zonenmethode für brandbeanspruchte Stahlbetonstützen untersucht. Hierbei werden verschiedene Möglichkeiten zur Berücksichtigung der thermischen Dehnungen vorgestellt und beurteilt. Die erweiterte Zonenmethode liefert dabei als einzige der beurteilten Methoden für alle untersuchten Stützentypen auf der sicheren Seite liegende Traglasten $N_{Rd,fi}$. Bezüglich der Abbildung der Verformungseigenschaften wird in [12] darauf hingewiesen, dass bei Berücksichtigung der temperaturabhängigen Eigenspannungen durch das Verschieben der Arbeitslinien um das Maß der

Tabelle 1. Zusammenstellung der Eingangswerte für Beispiel 1
Table 1. Summary of the input values of example 1

Beispiel 1										
t [min]	f_{ck} [MN/m ²]	l_{col} [m]	b [m]	h [m]	a [cm]	$A_{s,vorh}$ [cm ²]	a_z [cm]	T_{Stahl} [°C]	T_{Beton} [°C]	e_1 [cm]
90	30	4,5	0,40	0,40	5,0	24,6	3,8	520	100	15,5

Tabelle 2. Zusammenstellung der Eingangswerte für Beispiel 2
Table 2. Summary of the input values of example 2

Beispiel 2										
t [min]	f_{ck} [MN/m ²]	l_{col} [m]	b [m]	h [m]	a [cm]	$A_{s,vorh}$ [cm ²]	a_z [cm]	T_{Stahl} [°C]	T_{Beton} [°C]	e_1 [cm]
46	20	3,0	0,30	0,30	4,5	24,6	2,3	340	100	1,5

Tabelle 3. Zusammenstellung der Eingangswerte für Beispiel 3
Table 3. Summary of the input values of example 3

Beispiel 3										
t [min]	f_{ck} [MN/m ²]	l_{col} [m]	b [m]	h [m]	a [cm]	$A_{s,vorh}$ [cm ²]	a_z [cm]	T_{Stahl} [°C]	T_{Beton} [°C]	e_1 [cm]
60	30	9,0	0,45	0,45	4,5	44,3	2,7	430	100	58,4

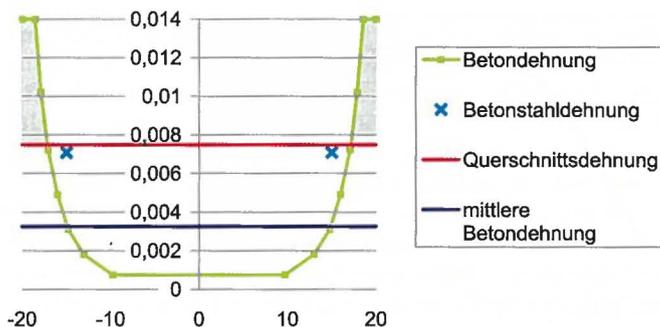


Bild 4. Thermische Dehnungen für Beispiel 1 bei Anwendung des allgemeinen Rechenverfahrens
Fig. 4. Thermal strains of example 1 by using the advanced analysis method

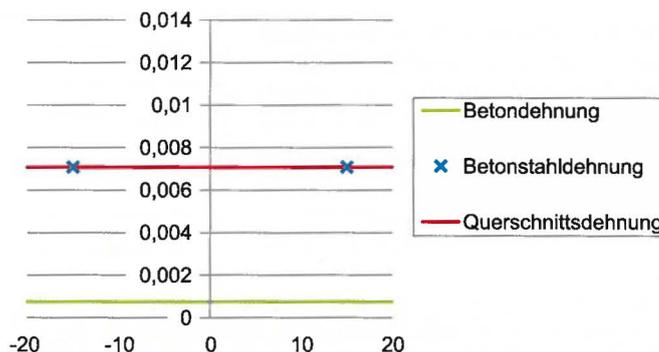


Bild 5. Thermische Dehnungen für Beispiel 1 bei Anwendung der erweiterten Zonenmethode
Fig. 5. Thermal strains of example 1 by using the extended zone method

thermischen Dehnung das Verformungsverhalten der Stützen überschätzt wird. Zur besseren Vergleichbarkeit der Ergebnisse werden für die nachfolgenden Berechnungen die in [12] untersuchten Stützenbeispiele herangezogen. Die entsprechenden Eingangswerte können den Tabellen 1 bis 3 entnommen werden. Die Beispiele bilden im üblichen Hochbau zur Anwendung kommende Ausführungsvarianten von Kragstützen ab und stellen somit eine geeignete Grundlage zur Bewertung der erweiterten Zonenmethode dar.

3.2 Traglasten

Die Gegenüberstellung der unter Anwendung des allgemeinen Rechenverfahrens und der erweiterten Zonenmethode errechneten Normalkrafttragfähigkeiten $N_{Rd,fi}$ der Beispiele 1 bis 3 (Bild 3) zeigt, dass die erweiterte Zonenmethode für die untersuchten Stützenvarianten auf der sicheren Seite liegende Ergebnisse liefert. Die Abweichungen betragen zwischen 16 % und 24 %. Sicherheitszuschläge dieser Größenordnung finden sich bei vereinfachten Rechenverfahren auch im Bereich der Kaltbemessung, wie z.B. bei Anwendung des Modellstützenverfahrens wieder und liegen demzufolge im tolerierbaren Bereich.

3.3 Verformungen

Unter Anwendung der erweiterten Zonenmethode kommt es im Regelfall zu einer Überschätzung der Stützenverformungen. Nachfolgend wird diese Abweichung durch eine Betrachtung der thermischen Dehnungen innerhalb des Querschnitts erläutert und eine Modifizierung der erweiterten Zonenmethode zur verbesserten Abbildung der Verformungseigenschaften vorgestellt.

Bild 4 zeigt für Beispiel 1 die thermischen Dehnungen der Materialien sowie des Querschnitts, die bei Anwendung des allgemeinen Rechenverfahrens in Ansatz gebracht werden. Die temperaturabhängigen Dehnungen, die im Zuge der Bemessung mit Hilfe der erweiterten Zonenmethode Berücksichtigung finden, können Bild 5 entnommen werden. Wie in Bild 4 gezeigt, stellt sich der Gleichgewichtszustand der thermischen Eigenspannungen bei einer Querschnittsdehnung von $\epsilon \cong 7,5 \text{ ‰}$ ein. Diese Dehnung übersteigt geringfügig die Betonstahldehnung von $\epsilon_s(520^\circ\text{C}) \cong 7,1 \text{ ‰}$. Hierdurch treten Zugkräfte innerhalb der Bewehrung auf. Demgegenüber stehen die äußeren Betonbereiche, die infolge der Gleichgewichtsdehnung gestaucht werden. Betonbereiche, deren thermische Dehnung unterhalb der Querschnittsdehnung liegt, sind im unbelasteten Zustand geris-

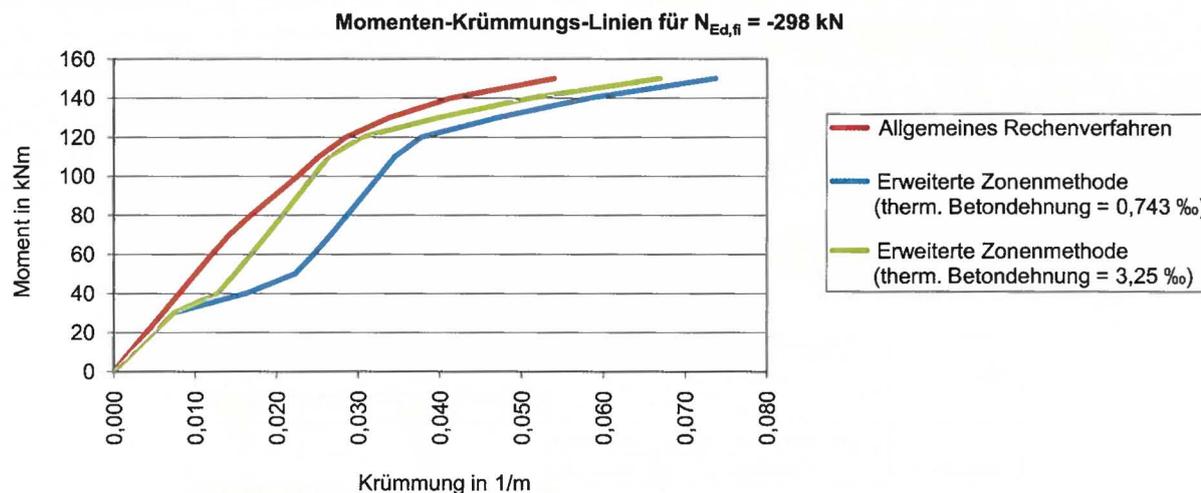


Bild 6. Momenten-Krümmungs-Linien für Beispiel 1
Fig. 6. Moment-curvature curves of example 1

sen und können nur durch äußere Lasten aktiviert werden. Dementsprechend bildet sich im unbelasteten Zustand bereits eine Art „Betonhohlkasten“ aus, wodurch die äußeren Betonbereiche (in Bild 4 grau hinterlegt) selbst bei geringen Krümmungen zur Steifigkeit des Querschnitts beitragen.

Dies ist bei der erweiterten Zonenmethode nicht der Fall, da sich aufgrund der geringen Betontemperatur von 100°C kein Gleichgewichtszustand innerhalb des Querschnitts zwischen den Materialdehnungen einstellt (Bild 5). Die thermische Dehnung $\epsilon_c(100^\circ\text{C}) \cong 0,743 \text{ ‰}$ des Betons unterschreitet über die gesamte Querschnittsbreite die Dehnung des Betonstahls, wodurch der Querschnitt als vollständig gerissen betrachtet werden kann und damit der Betonstahldehnung kein Widerstand entgegen gebracht wird. Der Beton wird weit über seine thermische Längeneränderung hinaus gedehnt und kann demzufolge erst bei deutlichen Stauchungen infolge äußerer Lasten in Ansatz gebracht werden. Die Steifigkeit des Querschnitts wird bis zur Aktivierung des Betons unterschätzt. Diese Betrachtung liegt im Hinblick auf die Ermittlung der Normalkrafttragfähigkeit $N_{Rd,fi}$, wie in Bild 3 dargestellt, auf der sicheren Seite und stellt damit ein geeignetes Vorgehen zur vereinfachten Ermittlung der Traglasten dar. Wie *Hosser und Richter* in [13] ausführen, ist mit Hilfe von vereinfachten Rechenverfahren in erster Linie ein Tragfähigkeitsnachweis für eine vorgegebene Brandeinwirkung t zu erbringen. Hierbei werden in der Regel Vereinfachungen hinsichtlich der Abbildung des Versagenszustandes getroffen. Die Ermittlung des Verformungsverhaltens eines Bauteils fällt gemäß [2] in den Anwendungsbereich von allgemeinen Rechenverfahren.

Soll die erweiterte Zonenmethode neben der Ermittlung der Traglasten auch zur Berechnung der Stützenverformungen herangezogen werden, sind Anpassungen hinsichtlich der Berücksichtigung der thermischen Dehnungen vorzunehmen. Diese Anpassungen sind erforderlich, um die Momenten-Krümmungs-Linien des allgemeinen Rechenverfahrens und der erweiterten Zonenmethode anzunähern und dem-

entsprechend das Verformungsverhalten der Stützen zutreffend abbilden zu können.

Bild 6 zeigt, dass der Querschnitt in Beispiel 1 durch das Verschieben der Betonarbeitslinie um das Maß der thermischen Betondehnung unter 100°C (blaue Kurve) aufgrund der späten Aktivierung des Betons bereits bei geringen Momenten eine wesentliche Krümmungszunahme erfährt. Dadurch kommt es zu einer Überschätzung der Stützenverformungen. Falls mit der erweiterten Zonenmethode realistischere Verformungswerte erzielt werden sollen, ist das Verfahren zu modifizieren. Eine Möglichkeit zur Anpassung des Verfahrens bietet dabei eine realitätsnähere Berücksichtigung der thermischen Betondehnungen. Wird anstatt der Dehnung $\epsilon_c(100^\circ\text{C}) \cong 0,743 \text{ ‰}$ die mittlere Betondehnung $\epsilon_c(\theta_m)$ des Betonquerschnitts in Ansatz gebracht, setzt die Mitwirkung des Betons bei geringeren Stauchungen ϵ_c ein (**Bild 7**), wodurch die Verformungen unter äußerer Belastung reduziert werden (grüne Kurve in Bild 6). Die mittlere Betondehnung kann bei dieser Vorgehensweise vereinfacht

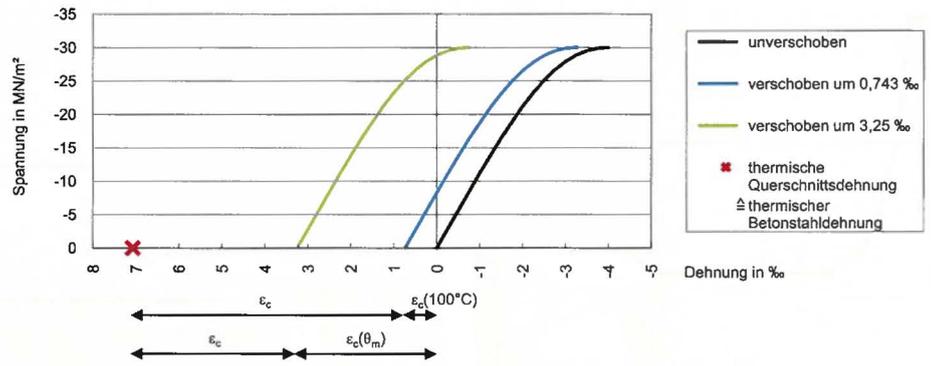


Bild 7. Spannungs-Dehnungs-Linie des Betons unter Berücksichtigung thermischer Dehnungen - Beispiel 1
 Fig. 7. Stress-strain curve of concrete with consideration of thermal strains - example 1

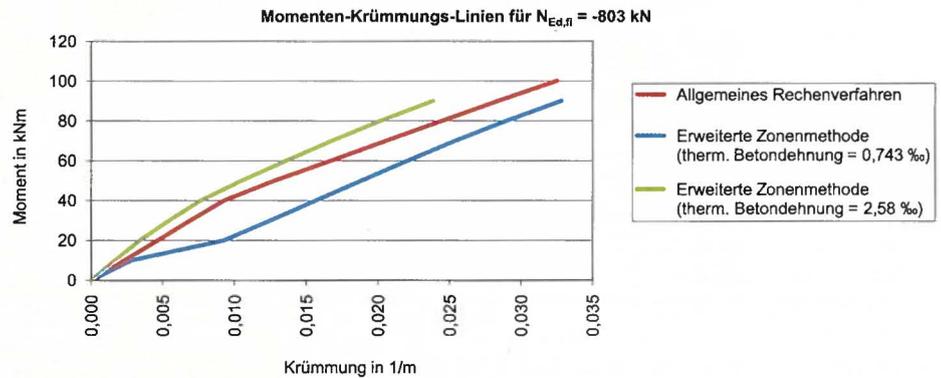


Bild 8. Momenten-Krümmungs-Linien für Beispiel 2
 Fig. 8. Moment-curvature curves of example 2

Tabelle 4. Ergebnisse unter Ansatz der thermischen Betondehnung $\epsilon_c(\theta_m)$
 Table 4. Results taking the thermal concrete strain $\epsilon_c(\theta_m)$ into account

		Kopfverformung [mm]	$N_{Rd,fi}$ [kN]
Beispiel 1	Allgemeines Rechenverfahren	246	-298
	Erweiterte Zonenmethode	260	-281
	prozentuale Abweichung	5,7	-5,7
Beispiel 2	Allgemeines Rechenverfahren	45	-803
	Erweiterte Zonenmethode	38	-927
	prozentuale Abweichung	-15,6	15,4
Beispiel 3	Allgemeines Rechenverfahren	663	-228
	Erweiterte Zonenmethode	715	-206
	prozentuale Abweichung	7,8	-9,6

mit Hilfe von in der Literatur [1; 14] zu findenden Temperaturprofilen ermittelt werden. Der Mittelwert der Betondehnung errechnet sich unter Anwendung des Anhangs A der DIN EN 1992-1-2 [1] für Beispiel 1 zu 3,25 ‰ (siehe auch Bild 4), in Beispiel 2 zu 2,58 ‰ und für Beispiel 3 zu 2,3 ‰. Der Ergebnisabgleich mit dem allgemeinen Rechenverfahren (Tabelle 4) zeigt, dass die erweiterte Zonenmethode unter Ansatz der mittleren thermischen Betondehnung für alle drei Beispiele sehr gute Ergebnisse liefert. Die Abweichungen liegen sowohl bei den Stützenverformungen als auch bei den Traglasten zwischen 6 % und 16 %. In Beispiel 2 wird unter den getroffenen Annahmen die Querschnittssteifigkeit geringfügig überschätzt (Bild 8), wodurch sich Abweichungen von ca. 16 % ergeben. Auch dieses Ergebnis ist vor dem Hintergrund eines vereinfachten Rechenverfahrens durchaus vertretbar.

4 Fazit

Die an drei praxisrelevanten Kragstützen durchgeführten Untersuchungen zeigen, dass eine im Sinne der nichtlinearen Berechnung erweiterte Zonenmethode ein geeignetes Verfahren zur vereinfachten Heißbemessung von Stützen darstellt. Dabei bietet das Verschieben der Spannungs-Dehnungs-Linien um das Maß der thermischen Materialdehnung eine anwenderfreundliche Möglichkeit zur Berücksichtigung der temperaturabhängigen Eigenspannungen. Sollen mit Hilfe der erweiterten Zonenmethode ausschließlich Traglasten betrachtet werden, kann die Arbeitslinie des Betons vereinfacht um die thermische Längenänderung unter der im Regelfall anzusetzenden Betontemperatur von 100°C verschoben werden. Diese Vorgehensweise liefert durch eine Unterschätzung der Querschnittssteifigkeit für im üblichen Hochbau zur Ausführung kommende Stützen auf der sicheren Seite liegende Ergebnisse, wodurch die primäre Anforderung an ein vereinfachtes Rechenverfahren erfüllt wird.

Sind Stützenverformungen und Traglasten zu ermitteln, wird empfohlen die mittlere Betondehnung in Ansatz zu bringen. Im Fall der vorgestellten Stützenvarianten kann mit Hilfe dieser Anpassung das Verformungsverhalten zutreffend abgebildet werden. Diese Methode ist künftig an weiteren Rechenbeispielen zu verifizieren.

Zusammenfassend kann die erweiterte Zonenmethode als praxistaugliches und für den Anwender nachvollziehbares Rechenverfahren zur vereinfachten brandschutztechnischen Bemessung von Stützen bewertet werden und sollte demzufolge auch nach der Einführung des Eurocodes [1] in Deutschland Anwendung finden.

Literatur

- [1] DIN EN 1992-1-2: Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-2: Allgemeine Regeln - Tragwerksbemessung für den Brandfall, Oktober 2006
- [2] Hosser, D.: Grundlagen und Hintergründe der Heißbemessung, DBV Gemeinschaftstagung: Eurocode 2 für Deutschland, Tagungsband, März 2010
- [3] DIN V ENV 1992-1-2: Eurocode 2: Planung von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-2: Allgemeine Regeln - Tragwerksbemessung für den Brandfall, Mai 1997
- [4] DIN-Fachbericht 92: Nationales Anwendungsdokument (NAD) - Richtlinie zur Anwendung von DIN V ENV 1992-1-2:1997-05, 2000
- [5] Muster-Liste der Technischen Baubestimmungen, Fassung September 2007
- [6] DIBt-Richtlinie zur Anwendung von DIN V ENV 1992-1-2:1997-05 in Verbindung mit DIN 1045-1: 2001-07, 2001
- [7] DIN 4102-22: Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen – Teil 22: Anwendungsnorm zu DIN 4102-4 auf der Bemessungsbasis von Teilsicherheitsbeiwerten, November 2004
- [8] Zilch, K., Müller, A., Reitmayer, C.: Erarbeitung von Anwendungskriterien für das vereinfachte Rechenverfahren (Zonenmethode) nach DIN EN 1992-1-2, Schlussbericht im Auftrag des Deutschen Instituts für Bautechnik, Az.: ZP 52-5-7.297-1332/09, August 2009
- [9] DIN EN 1992-1-1: Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau; Oktober 2005
- [10] DIN 1045-1: Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Teil 1: Bemessung und Konstruktion, August 2008
- [11] Müller, A., Giese, Y.: Brandschutztechnische Bemessung von Stahlbetonstützen, Seminarreihe der Bundesvereinigung der Prüferingenieure für Bautechnik e.V., 2008
- [12] Cyllok, M., Achenbach, M.: Anwendung der Zonenmethode für brandbeanspruchte Stahlbetonstützen, Beton- und Stahlbetonbau 104, Heft 12, 2009
- [13] Hosser, D., Richter, E.: Sonderdruck aus Betonkalender - Konstruktiver Brandschutz im Übergang von DIN 4102 zu den Eurocodes, 2009
- [14] Kordina, K., Meyer-Ottens, C.: Beton Brandschutz Handbuch, Verlag Bau+Technik GmbH, 1999