Tragverhalten brandbeanspruchter Bauteile

Autor(en): **Kordina, K. / Klingsch, W.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **IABSE congress report = Rapport du congrès AIPC = IVBH Kongressbericht**

Band (Jahr): **10 (1976)**

PDF erstellt am: **04.06.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-10440

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Tragverhalten brandbeanspruchter Bauteile

Load Bearing Behaviour of Structural Members in Fire

Comportement des éléments en béton armé soumis au feu

K. KORDINA
Prof. Dr.-Ing.

W. KLINGSCH
Dr.-Ing.

Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau, TU Braunschweig
Braunschweig, BRD

1. Grundlagen

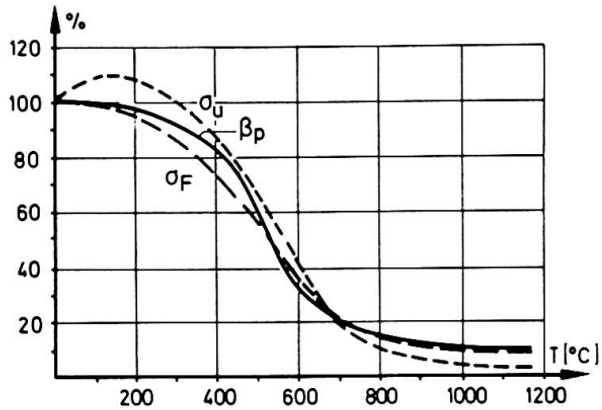
Ausgang jeder realistischen Analyse zum Verhalten brandbeanspruchter Bauteile ist die Berücksichtigung der Temperaturabhängigkeit aller Werkstoffdaten. Darunter sind sowohl die thermischen Eigenschaften, wie z.B. Wärmeleitzahl und Temperaturausdehnungskoeffizient zu verstehen als auch sämtliche mechanischen Eigenschaften, wie Festigkeits-und Verformungskenngrößen. Die Abbildungen 1 und 2 zeigen für die letztgenannten Parameter den Verlauf der Rechenwertfunktionen, wie sie für die numerische Analyse benutzt wurden [2]. Charakteristisch für alle Werkstoffdaten ist ihr nichtlinearer Verlauf. Die herkömmliche Formulierung eines Werkstoffgesetzes der Art $\sigma = \sigma(\varepsilon)$ muß erweitert werden zur Formulierung $\sigma = \sigma(\varepsilon,T)$. Man erhält dann eine Schar von σ-ε-Beziehungen mit dem Scharparameter der Temperatur T [1].

Jüngste Untersuchungen zum Kriech-und Relaxationsverhalten von Beton unter hohen instationären Temperaturen [4] ermöglichen es, auch Zwängungsprobleme aus Bauwerksinteraktionen wirklichkeitsnah zu erfassen. In jenen Fällen ist es erforderlich, die spannungserzeugende Dehnung ε_σ, aufgefaßt als Summe aus thermischer (ε_{Th}) und lastabhängiger Dehnung (ε_p) um einen Kriech-bzw. Relaxationsanteil ε_{mc} (Abbildung 3) zu erweitern:

$$\varepsilon_\sigma = \varepsilon_{Th} + \varepsilon_p + \varepsilon_{mc} \qquad (1)$$

Da der Querschnitt durch einen Temperatur-Gradienten belastet ist, wird das näherungsweise gleichförmige Ausgangsmaterial in jedem Punkt anders beeinflußt. Zur Beschreibung und numerischen Erfassung dieses komplexen Verhaltens dient eine zweidimensionale Querschnittsdiskretisierung [2,3].

Die nachfolgend aufgezeigten Ergebnisse einer rechnergesteuerten Analyse des Brandverhaltens belasteter Stahlbetonbauteile soll exemplarisch die Leistungsfähigkeit des Verfahrens andeuten. Es wurde für die hier präsentierten Ergebnisse eine Temperaturbelastung entsprechend der ETK nach DIN 4102 zugrundegelegt und als Ausgangswerkstoff ein quarzitischer Normalbeton gewählt. Diese Annahmen stellen jedoch keine verfahrensbedingten Einschränkungen dar. Sofern



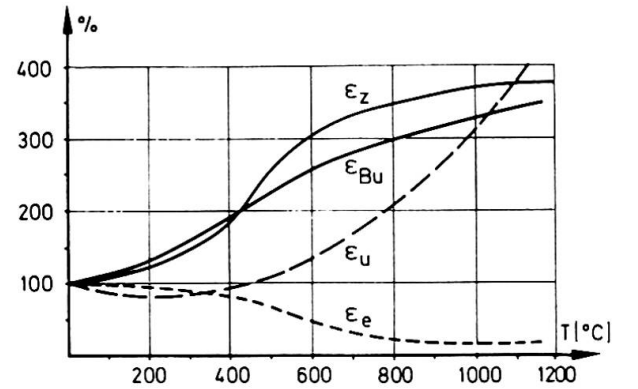
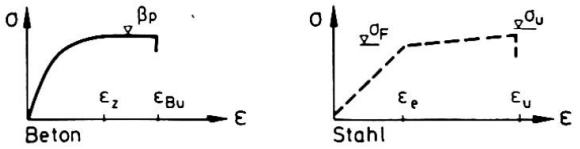


Abb.1: Veränderung der Festigkeitseigenschaften

Abb.2: Veränderung der Verformungseigenschaften



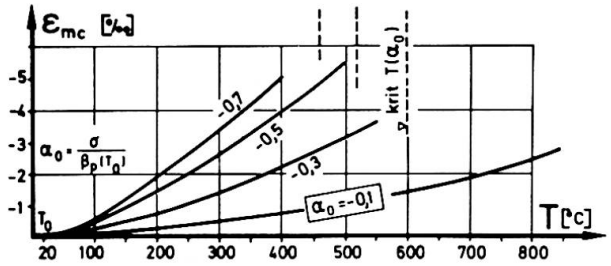


Abb.3: Kriech-bzw. Relaxationsanteile ε_{mc}

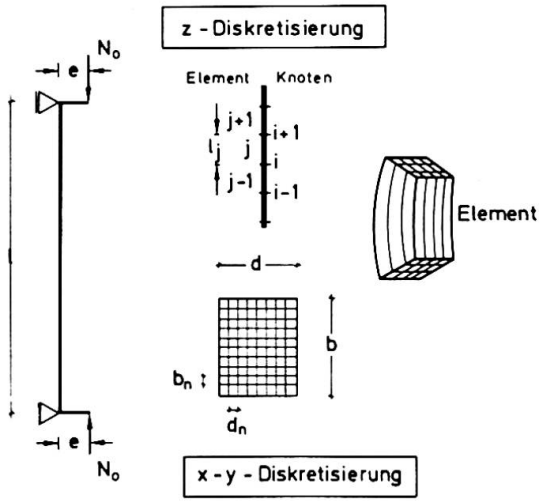


Abb.4: Diskretisierungsprinzip

nichts anderes angegeben ist, wurde für die gerechneten Beispiele ein Bn 350 (β_p = 350 kp/cm²) und BSt 42/50 (σ_F/σ_u = 4200/500 kp/cm²) angenommen.

2. Tragverhalten brandbeanspruchter Einzelbauteile

2.1 Stabförmige Bauteile

Bei stabförmigen Bauteilen ist neben der Belastungsart (Biegemoment M, Normalkraft N) der Einfluß der Schlankheit gesondert zu beachten, dies bedingt bei stabilitätsgefährdeten Stützen eine Erweiterung der zweidimensionalen Querschnittsdiskretisierung zu einer dreidimensionalen Systemdiskretisierung (Abb.4), da hier nicht mehr die reine Querschnittstragfähigkeit als Kriterium genügt, sondern zusätzlich der Einfluß aus Theorie II. Ordnung (geometrische Nichtlinearität) zu berücksichtigen ist.

Bei gedrungenen oder vorwiegend auf Biegung beanspruchten Bauteilen kann der Versagenszeitpunkt t_u unter Gebrauchslast N_o, M_o aus der Veränderung der aufnehmbaren Bruchschnittgrößen mittels eines M_u - N_u - t - Interaktions-Diagramms ermittelt werden [1]. Für Rahmenriegel, Unterzüge u.ä. Bauteile, die nur durch geringe Normalkräfte N belastet sind und dies auch während eines

TYP	Temp.- Randbeding.				Art der Erwärmung	Wirkung der therm. Krümmung
	I	II	III	IV		
A	T(t)	T(t)	T(t)	T(t)	allseitig	keine Krümmung
B	T(t)	T(t)	T(t)	T_0	dreiseitig	gegen-sinnig zu M_0
C	T_0	T(t)	T_0	T_0	einseitig	
D	T(t)	T_0	T(t)	T(t)	dreiseitig	gleich-sinnig zu M_0
E	T_0	T_0	T_0	T(t)	einseitig	

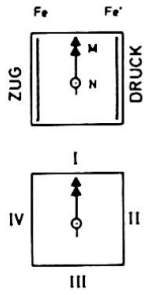


Tabelle 1: Thermische Randbedingungen

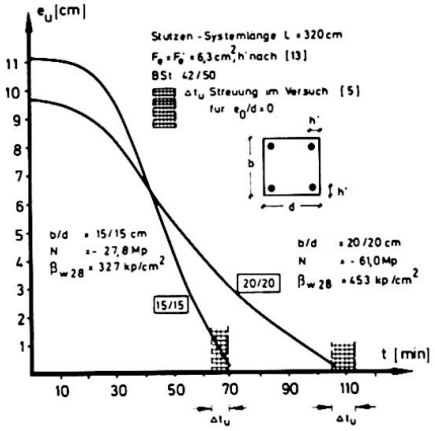


Abb.6: Versuchsnachrechnung von Stahlbetonstützen

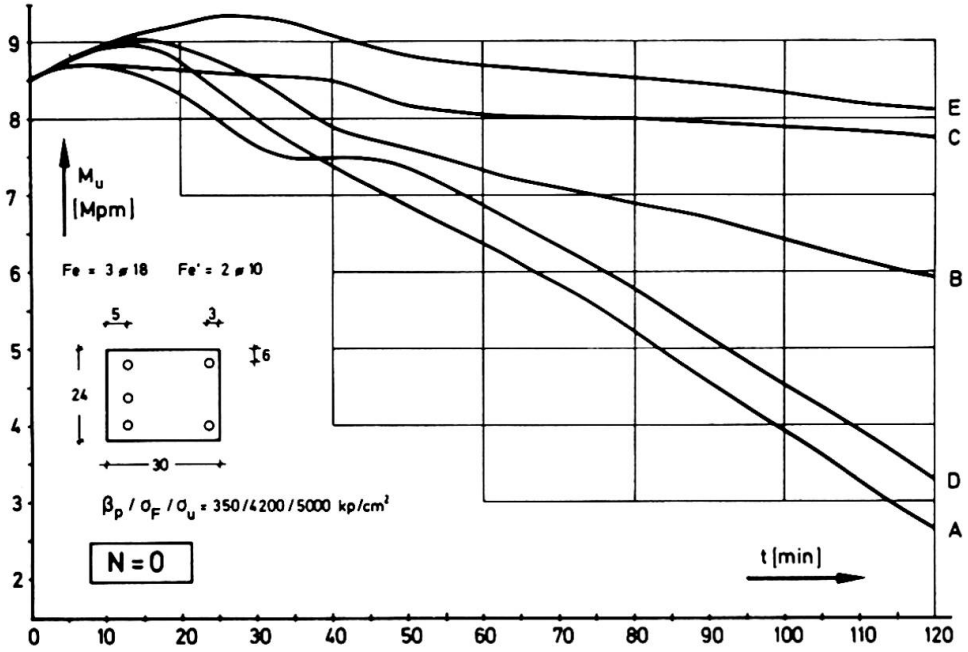


Abb. 5: Bruchmomentenverläufe eines Stahlbetonbalkens bei unterschiedlichen thermischen Randbedingungen

Brandes bleiben, ist für die Praxis ein $M_u(t)$-Diagramm besser geeignet. Entwickelt man diese Beziehung für $N_o \cong 0$, können damit i.d.R. die für jene Bauteile praktisch auftretenden N_o-Einflüsse ausreichend abgedeckt werden (Abb.5). Gleiches gilt teilweise für zusätzliche Zwängungen infolge Dehnungsbehinderung im Brandfall. Der Zeitpunkt des Querschnittsversagens kann über die Bedingung

$$t_u = t\ (M_u = M_o) \qquad (2)$$

ermittelt werden.

Sehr häufig wird in der Praxis eine partielle Brandbelastung der Art vorliegen, daß nicht alle Seiten thermisch beansprucht sind. Hierdurch wird eine erhöhte Feuerwiderstandsdauer erreicht, da die Querschnittsdurchwärmung mit all ihren Konsequenzen verzögert abläuft. Tabelle 1 gibt einen Überblick über die i.d.R. zu erwartenden praktischen Fälle (Typen A-E).

Bei Stützen ergibt sich der Versagenszeitpunkt t_u unter der Gebrauchslastkombination N_o und $M_o = N_o \cdot e_o$. Formuliert man den Versagenszeitpunkt als

$$t_u = t\ (e_u = e_o) \qquad (3)$$

so ergibt sich als Traglastcharakteristik ein $e_u(t)$-Verlauf [1]. Die in Abbildung 6 dargestellte Versuchsnachrechnung [5] zeigt eine gute Übereinstimmung zwischen Experiment und Rechnung. Trotz der planmäßig zentrischen Belastung erfolgte das Versagen als Stabilitätsbruch infolge unvermeidbarer Systemimperfektionen.

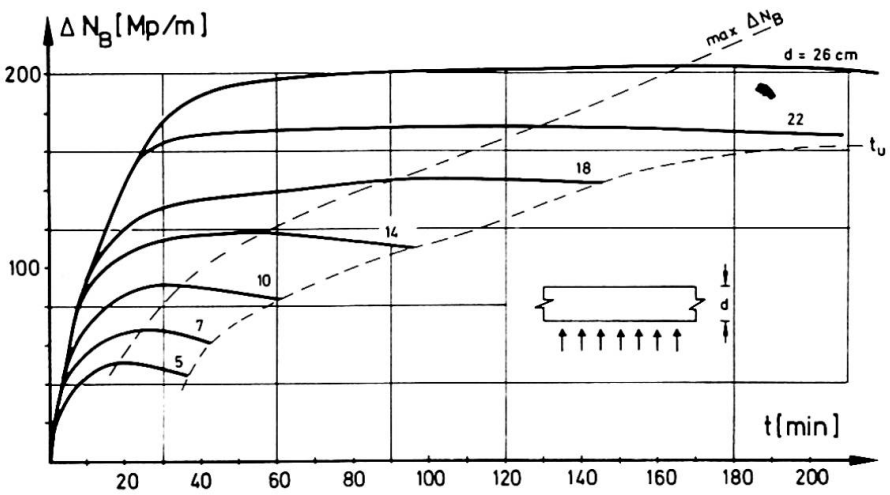


Abb.7: Zwangskraftentwicklung in Stahlbetonplatten und -scheiben bei einseitiger lokaler Brandbeanspruchung

Abb.9: Zwängungsrisse Vergleich zwischen Experiment und Rechnung

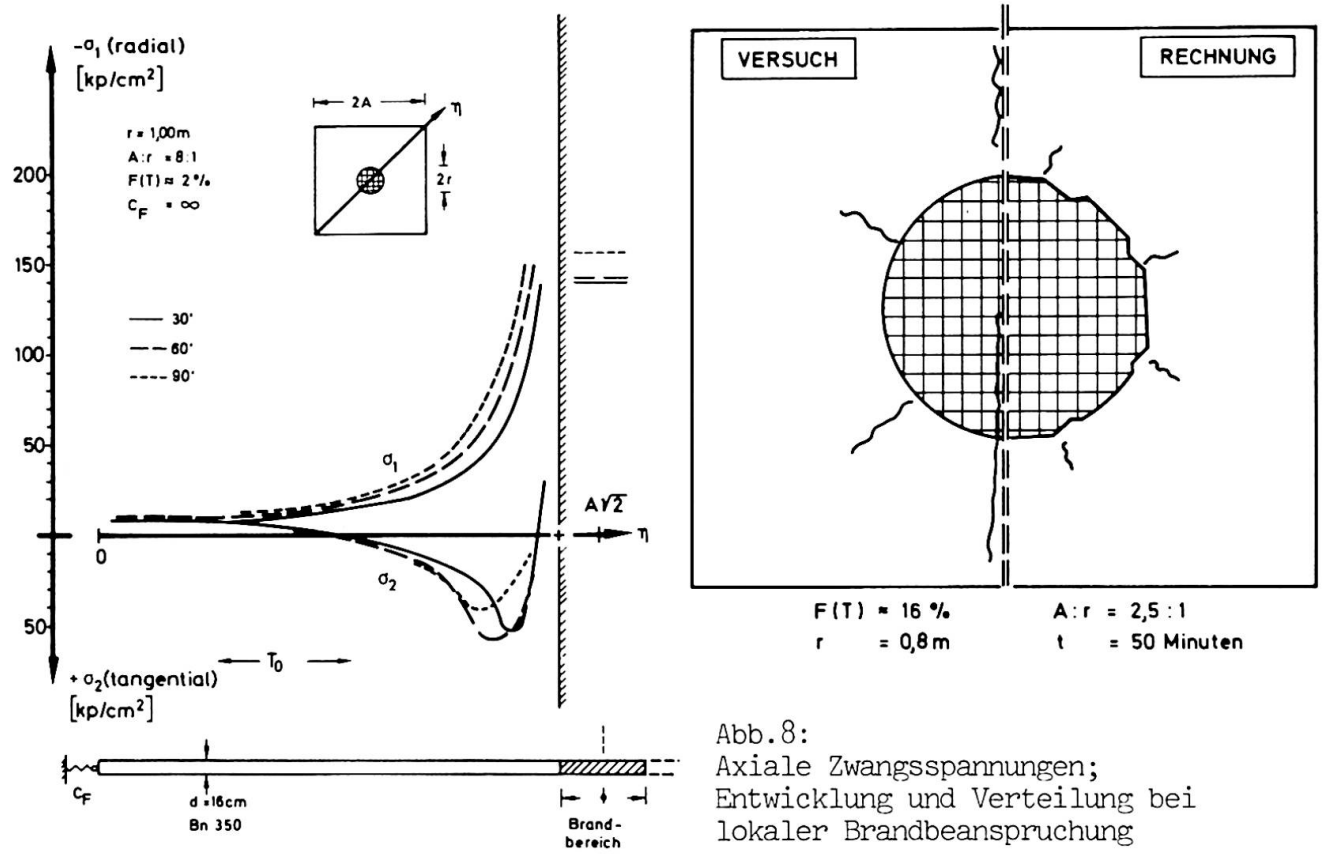


Abb.8: Axiale Zwangsspannungen; Entwicklung und Verteilung bei lokaler Brandbeanspruchung

In gleicher Weise konnten zwischenzeitlich auch die von den Autoren durchgeführten ersten Versuche an planmäßig exzentrisch belasteten, brandbeanspruchten Stützen numerisch analysiert werden.

2.2 Flächentragwerke

Die folgenden Ausführungen betrachten den Sonderfall der partiellen einseitigen Brandbelastung, wie er z.B. bei lokalen Bränden innerhalb eines mehrfeldrigen Geschoßplattensystems i.d.R. erwartet werden kann. Die benachbarten kalten Bereiche behindern die thermische Dehnung und wecken axiale Zwangskräfte. Größe und Lage der Resultierenden ist dabei zeitabhängig. Hieraus resultiert eine zusätzliche Biegebeanspruchung, die je nach Lage des Temperaturmaximums gleichsinnig oder entgegengesetzt zur Biegemomentenbeanspruchung aus Gebrauchslast sein kann. Zusätzlich ergibt sich ein Scheibenspannungszustand infolge der inneren Zwängung. Größe und Verlauf der resultierenden Zwangskräfte sind dabei nicht nur zeitabhängig, sondern werden wegen des unterschiedlichen Durchwärmungsver-

haltens sehr wesentlich von der Plattendicke beeinflußt (Abb.7). Hier muß u.U. mit einem lokalen Druckversagen infolge des Scheibenspannungszustandes gerechnet werden. Örtliche oberflächennahe Druckzerstörungen treten in jedem Fall schon nach kurzen Brandzeiten auf. Neben der Querschnittsschwächung ist die bereits erwähnte zusätzliche Exzentrizitätswirkung von besonderer Bedeutung. Für eine realistische Kalkulation hat sich hier der Hochtemperatur-Relaxationseinfluß entsprechend Gleichung (1), Abb.3, als besonders wichtig erwiesen.

Abbildung 8 zeigt den berechneten Hauptspannungsverlauf für ein spezielles Beispiel. Die Berechnung erfolgte mit Hilfe der Methode der Finiten-Elemente bei Berücksichtigung der physikalischen Nichtlinearität des Materials. Das berechnete Rißbild zeigt eine gute Übereinstimmung mit Versuchswerten (Abb.9). Interessant ist der begrenzte Zugbereich und das steile Umlenken der σ_2-Komponente aus dem Zug- in den Druckbereich bei Annäherung an den Brandbereich; experimentell spiegelt sich dies in dem örtlich begrenzten Rißbereich wieder [3].

3. Gebäudeinteraktion bei lokalen Bränden

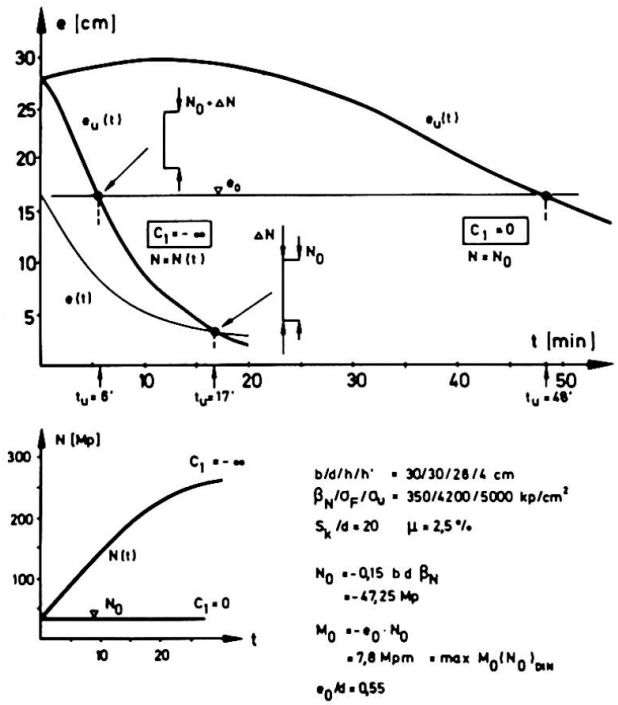
Interaktionen mit den umgebenden kalten Gebäudeteilen resultieren primär aus einer Verformungsbehinderung; sowohl Verdrehungs-, Durchbiegungs- als auch Dehnungsbehinderungen sind je nach System zu erwarten. Unter diesem Aspekt wurden u.a. das Verhalten von Durchlaufträgern, Rahmen und Stützen-Decken-Systemen untersucht [4] .

Im folgenden soll exemplarisch lediglich der gravierende Einfluß einer Längsdehnungsbehinderung auf Stützentraglasten aufgezeigt werden [4]. Die Berücksichtigung der Hochtemperatur-Relaxation (HTR) erlangt hier besondere Bedeutung [2].

Für ein Stützenbeispiel zeigt Abb.10 den Verlauf der beiden Grenz-Traglastcharakteristiken: allseitig erwärmte Stütze mit freier (c_1=0) und vollständig behinderter ($c_1 = -\infty$) thermischer Längsdehnung. Die schnelle Entwicklung hoher Zwangskräfte ΔN bewirkt einen raschen Abbau der gleichzeitig aufnehmbaren Momentenbelastung M_o:

$$N(t) = N_o + \Delta N(t)$$

$$M_o(t) = N_o \cdot e_o + \Delta N(t) \cdot e_\Delta(t)$$



Die Feuerwiderstandsdauer des unbehinderten Systems wird dabei um mindestens 60% reduziert. Der Versagenszeitpunkt wird bei Dehnungsbehinderung dabei nicht nur durch die Zwangskraft ΔN allein, sondern auch durch deren Exzentrizität sehr stark beeinflußt. Abbildung 10 zeigt die Auswirkungen für zwei Sonderfälle:

a) $t_u = 6'$ für $e(\Delta N) = e_o$

b) $t_u = 17'$ für $e(\Delta N) = 0$.

Hier muß allerdings bemerkt werden, daß Fall a) mit gleichbleibender Lastausmitte bei wirklichen Bränden wenig wahrscheinlich ist.

Abb.10:
Grenz-Traglastcharakteristiken einer schlanken Stahlbetonstütze und Versagenszeitpunkt-Beeinflussung infolge Zwangskraft-Exzentrizität

4. Literatur

[1] Kordina,K. W. Klingsch: "Tragverhalten brandbeanspruchter Stahlbetonstützen" IVBH-Symposium, Québec, Band 16 (1974)

[2] Klingsch, W.: "Traglastberechnung instationär thermisch belasteter schlanker Stahlbetondruckglieder mittels zwei-und dreidimensionaler Diskretisierung" Dissertation Technische Universität Braunschweig(1975)

[3] Klingsch, W.: "Entwicklung und Verteilung axialer Zwangskräfte in Stahlbeton-Flächentragwerken bei partieller Brandbeanspruchung" SFB 148 - Bericht - A 1/A 2 - V, Technische Universität Braunschweig (1974)

[4] Kordina, K., U. Schneider, A. Haksever, W. Klingsch: "Zur Berechnung von Stahlbetonkonstruktionen im Brandfall" CIB W 14 90/75(D), SFB 148, Technische Universität Braunschweig (1975)

[5] Becker, W, J. Stanke: "Brandversuche an Stahlbetonfertigstützen" Deutscher Ausschuß für Stahlbeton, Heft 215, Verlag Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin (1970)

ZUSAMMENFASSUNG

Das charakteristische Verhalten von Stahlbetonstab- und -flächentragwerken bei Brandbeanspruchung wird untersucht. Die numerischen Grundlagen beruhen auf einem Diskretisierungsprinzip, das die wirklichkeitsnahe Berücksichtigung der durchwärmungsbedingten Materialveränderungen erlaubt. Die Ergebnisse bilden die Grundlage einer praktischen Bemessungshilfe für bestimmte Feuerwiderstandseigenschaften.

SUMMARY

The study shows the characteristic behaviour of reinforced concrete members under fire action for columns and beams as well as for plates. The numerical basis is a discretisation principle which allows a realistic consideration of the temperature depending material behaviour. The results form the basis of practical design criteria for determining defined fire resistance.

RESUME

L'étude s'occupe du comportement caractéristique des éléments en béton armé soumis au feu. Il s'agit des colonnes, des poutres et des plaques. Les bases numériques se fondent sur un principe de discrétisation qui permet la considération réelle de la variation du matériau en fonction de la température. Les résultats forment la base d'un dimensionnement pratique correspondant à la réalité.