

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 1 304 419 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:

23.04.2003 Patentblatt 2003/17

(51) Int Cl.7: **E04B 1/94**, A62C 2/00,
G06F 17/50

(21) Anmeldenummer: **01124843.2**

(22) Anmeldetag: **18.10.2001**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU
MC NL PT SE TR**

Benannte Erstreckungsstaaten:

AL LT LV MK RO SI

(71) Anmelder: **Wageneder, Johannes**
1130 Wien (AT)

(72) Erfinder: **Wageneder, Johannes, Dipl.-Ing.**
1130 Wien (AT)

(74) Vertreter: **Schön, Theodor,**
Patent- und Zivilingenieur
Sonnleiten 7
84164 Moosthenning (DE)

(54) **Verfahren zum Nachweis der Tragsicherheit von Tragsystemen unter Brandlast**

(57) Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Nachweis der Tragsicherheit von Tragsystemen unter Brandlast durch Berechnung der Veränderungen der Materialeigenschaften während des Brandes und der Restfestigkeit nach dem Brand unter Zugrundelegung von mittels Stabstatik gewonnener Daten, welche

bereits aus der Konstruktion des Bauteiles hervorgegangen sind und welche sich auf die Auslegung des Bauteiles für Standardlastfälle wie Eigengewicht, Wasserlast, Erddruck und Nutzlast beziehen.

EP 1 304 419 A1

Beschreibung

[0001] Statisch belastete Bauwerke werden in ihrer Konstruktion üblicherweise so ausgelegt, dass sie eventuellen negativen Umwelteinflüssen, wie erhöhter Temperaturbelastung beim Auftreten eines Brandes zumindest über einige Zeit hinweg standhalten.

[0002] Zu diesem Zweck werden beispielsweise Tunnelbauelemente an ihrer Oberfläche mit Wärmedämmmatten ausgekleidet, um die Erwärmung der Tunnelschale bei einem Brand zu verzögern.

[0003] Aus den Schadensbildern der Tunnelbrände der letzten Jahre wurde gefunden, dass sowohl unbewehrte Betonstrukturen als auch Stahlbetontragwerke gegen Brandeinwirkung gewisse Tragreserven aufweisen. Ein adäquates Rechenverfahren zum Nachweis solcher Tragreserven, welches auf den gleichen Prinzipien wie der Nachweis gegen Gebirgsdruck und andere Lasten beruht, ist jedoch bisher nicht bekannt.

[0004] Da die nationalen Behörden im Zuge der Bewilligungsverfahren aber vermehrt auf die Vorlage derartiger Nachweise drängen, stellt sich die vorliegende Erfindung die Aufgabe ein Rechenverfahren zu entwickeln, welches ohne Anwendung von komplexen numerischen Methoden funktioniert und einen Tragsicherheitsnachweis von statisch belasteten Betonbauwerken während und nach einem Brand ermöglicht.

[0005] Damit soll eine zuverlässige Informationsquelle geschaffen werden, welche Auskunft darüber gibt, wie lange ein Betonbauwerk unter Brandlast seine Stabilität hält bevor es einstürzt. Diese Information ist wichtig, um zu wissen welche Zeitspanne ab dem Ausbruch des Brandes zur Evakuierung gefährdeter Personen zur Verfügung steht bzw. ab wann das Betreten durch Löschpersonal nicht mehr ratsam ist.

[0006] Diese Problematik trifft prinzipiell auf jedes statisch belastete Bauwerk zu. Exemplarisch wird hier jedoch besonders auf das Problem von Bränden in einem Tunnel eingegangen. Von besonderer Bedeutung sind solche Tragsicherheitsnachweise für Tunnelanlagen im städtischen Bereich, wo ein Einbrechen der Tunnelschalen einen Verbruch bis an die bebaute Oberfläche verursachen kann. Diese Problematik wird um so anschaulicher, wenn man weiß, dass der Abstand zwischen der Tunneldecke und dem Erdniveau hier nur einige Meter, etwa 7 bis 15 Meter betragen kann.

[0007] Um Brandlasten und deren Auswirkungen auf die Tragkonstruktion berücksichtigen zu können sind in der Abfolge der Analyse drei wesentliche Abschnitte zu unterscheiden:

- die Definition der Brandlast
- die Berechnung der Temperaturgradienten im Bauteil
- der Nachweis der Tragsicherheit des Bauwerkes

[0008] Zur Definition der Brandlast können entweder vordefinierte Brandverläufe oder speziell für den jeweiligen Fall berechnete Brandlastkurven herangezogen werden, wobei hier die Art des Verkehrs bzw. der beförderten Güter berücksichtigt wird. Diese Brandlastkurven bestimmen den Temperaturverlauf in Abhängigkeit von der Zeit.

[0009] Mit den somit vorgegebenen Brandlasten kann über Lösung von Differentialgleichungen die Temperaturgradienten im Bauteil in Abhängigkeit von der Zeit ermittelt werden. Auch hierfür stehen Rechenprogramme zur Lösung dieses Wärmeleitproblems zur Verfügung.

[0010] Entsprechende Berechnungen der Tunnelschalen für sogenannte Standardlastfälle wie Eigengewicht, Wasserlast, Erddruck und Nutzlast liegen üblicherweise zu Beginn jeder Konstruktionse Entwicklung vor. Diese Berechnungen werden meist mit Hilfe linearer Stabstatik durchgeführt. Der Nachweis der Temperaturlasten erfolgt ebenfalls nach diesem System.

[0011] Zunächst sind die Materialkennwerte für den Bauteil, im Fall eines Tunnels für Stahlbeton, unter Temperatureinwirkung festzulegen. Dazu werden die Eigenschaften während des Brandes und die Restfestigkeit nach dem Brand sowohl für den Beton als auch für den Stahl bestimmt. Voraussetzung dafür ist, dass die innere Bewehrungslage entsprechend geschützt ist. Wird die innere, der Temperatur ausgesetzte Bewehrungslage nicht gegen Überhitzung geschützt, so bleibt keine Restfestigkeit und somit keine Tragfähigkeit erhalten. Der Schutz der Bewehrung ist nur durch entsprechend große Deckung erzielbar. Dabei kommt der Verhinderung des Abplatzens der Deckung entweder durch Hautbewehrung oder durch die Beigabe von Polypropylenfasern große Bedeutung zu.

[0012] In Abhängigkeit der Temperatur T im Querschnitt, die durch die Temperaturgradienten zu jedem Zeitpunkt t gegeben ist, ergeben sich an jeder Stelle im Querschnitt verschiedene Materialeigenschaften. So ergibt sich für jeden Punkt im Querschnitt der gültige Elastizitätsmodul (E -Modul) als

$$E_m = f(T(f(t)))$$

wobei der E -Modul eine Funktion der Temperatur und diese wiederum eine Funktion der Zeit ist. Das gleiche gilt für die jeweils gültige Beton- bzw. Stahlfestigkeit

$$\sigma_{m,t} = f(T(t)).$$

[0013] Diese, über den Querschnitt ständig unterschiedlichen Materialeigenschaften sind nun über die Querschnittshöhe zu integrieren und ergeben die Gesamteigenschaften des Querschnittes mit der zu diesem Zeitpunkt herrschenden Temperaturbelastung.

[0014] Mit Hilfe eines Computerprogrammes werden die einzelnen Querschnittseigenschaften für die vordefinierten Grenzdehnungszustände integriert und die jeweils möglichen Traglasten errechnet. Die Umhüllende, geformt aus der Variation der Randdehnungen ergibt dann die Traglastkurven.

[0015] Wie für Stahlbeton-Traglastkurven üblich, hängt die Tragkapazität des einzelnen Querschnitts von der Definition der Grenzdehnungen ab, wobei hier vor allem die Erhöhung der zulässigen Betonstauchung einen erheblichen Anteil leistet. Die Definition der Grenzdehnungen hat vor allem Einfluß bei temperaturbelasteten Querschnitten.

[0016] Erwartungsgemäß führt die Temperaturbeanspruchung insgesamt zu einer Reduktion des Tragvermögens des Querschnittes und gleichzeitig zu einem unsymmetrischen Tragverhalten des Querschnittes, da ja die Materialeigenschaften selbst für geometrisch symmetrische Querschnitte nunmehr unsymmetrisch sind. Wie festgestellt werden konnte, führt eine Erhöhung der maximal zulässigen Betonstauchung zu einer nicht unwesentlichen Erhöhung der Tragkapazität des Querschnittes. Die Erklärung liegt darin, dass zwar an den Rändern keine höhere wirksame Betonspannung aufgebaut werden kann, aber in den etwas kühleren inneren Bereichen des Querschnittes nunmehr bei höherer zugehöriger Betonstauchung größere Lastreserven aktiviert werden können.

[0017] Ebenso wie die Traglast des Querschnittes, sinken mit zunehmender Temperaturbeanspruchung auch die Steifigkeiten des Querschnittes, die einerseits vom Absinken des zugehörigen E-Modules abhängen, andererseits durch die ständige Reduktion der Querschnittshöhe aufgrund der Überbelastung durch die Temperatur erfolgen, da ja alle Querschnittsanteile mit Temperaturbelastungen größer 700 °C ausfallen.

[0018] Sinngemäß wie bei der Ermittlung der Traglast kann im Querschnitt an jeder Stelle über die Definition des jeweils gültigen E-Modules der Anteil zur Steifigkeit des Gesamtquerschnittes ermittelt werden.

[0019] Wie bereits erwähnt, soll mit diesem Verfahren mit linearer Stabstatik das Auslangen gefunden werden. Um dies zu gewährleisten, müssen die Temperaturbelastungen des Querschnittes umgeformt werden.

[0020] In der linearen Stabstatik sind nur lineare Verläufe von Temperaturgradienten zulässig. Wie festgestellt werden konnte, weichen die tatsächlichen Temperaturgradienten stark von linearen Verläufen ab. So sind in der Regel die Randzonen stark temperaturbeansprucht, weiter innen liegende Querschnittsteile und der dem Brand abgewandte Teil des Querschnittes werden in der Regel kaum oder gar nicht temperaturbeansprucht.

[0021] Ebenso sind die reduzierten Materialeigenschaften nur in den Zonen erhöhter Temperaturbeanspruchung von Bedeutung, für den Restquerschnitt gelten immer noch die ursprünglichen Materialeigenschaften.

[0022] Ähnlich wie bei der Ermittlung der Traglast kann zu jeder Temperaturbelastung ein innerer Spannungszustand definiert werden, der an jeder Stelle einerseits von der jeweils herrschenden Temperatur und den dabei auftretenden Dehnungen bestimmt ist. Andererseits können für jeden Punkt die Materialeigenschaften in Abhängigkeit von der Temperatur definiert werden, womit sich die Gesamtbelastung aus der vorgegebenen Temperaturgradienten errechnen läßt.

[0023] Diese inneren Schnittkräfte können in einem Folgeschritt jeweils wieder in äquivalente äußere Temperaturbelastungen umgerechnet werden, die genau diese inneren Schnittgrößen, nicht jedoch denselben Spannungszustand erzeugen würden.

[0024] Mit diesen äquivalenten Temperaturbelastungen können nunmehr Schnittgrößen mit Hilfe der linearen Stabstatik ermittelt werden, und deren Resultate aus Biegemoment und Normalkraft gegen die Traglastkurven abgegrenzt werden.

[0025] Mit den angeführten Berechnungsschritten sind nunmehr alle Voraussetzungen geschaffen, den Traglastnachweis zu führen. Die äquivalente Temperaturbelastung wird zusätzlich zu den ohnehin wirkenden Lasten eingebracht und mit Hilfe der linearen Stabstatik werden die Schnittgrößen ermittelt. Die Interaktion dieser Schnittgrößen wird gegen die Traglastkurven des jeweiligen Querschnittes abgegrenzt und der Tragsicherheitsnachweis somit erbracht.

[0026] Soll das nachgewiesene System auch nach dem Brand noch mit einer vorgegebenen Sicherheit standsicher bleiben, bis entsprechende Sanierungsmaßnahmen durchgeführt werden, ist auch ein Tragsicherheitsnachweis nach dem Brand zu führen.

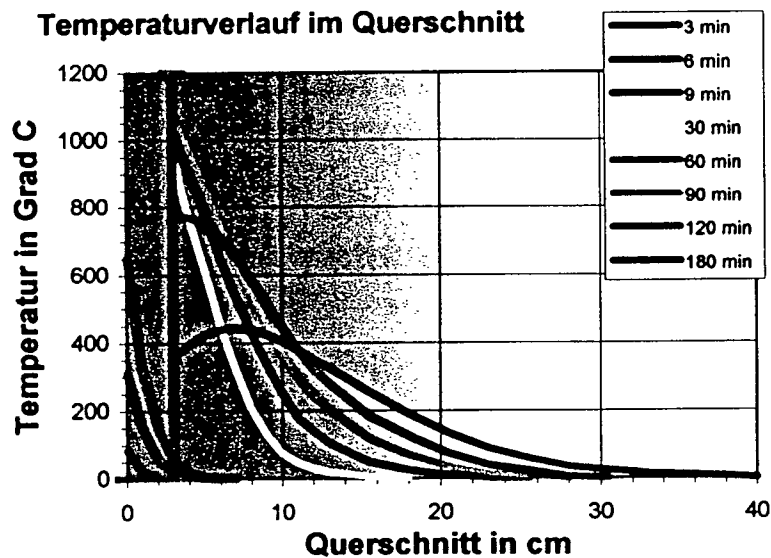
[0027] Dies hat mit den durch die Brandbelastung entsprechend reduzierten Materialeigenschaften sowohl für Beton als auch für Stahl zu geschehen. Dies ist bei der Festlegung der notwendigen Bewehrung derart zu berücksichtigen, dass zunächst Schnittgrößen an der Konstruktion ohne Brandlast, jedoch mit den geänderten Steifigkeitsverhältnissen zu ermitteln sind. Der Bemessungsnachweis erfolgt sodann mit reduzierten Materialeigenschaften, wobei die geforderten Sicherheitsbeiwerte anzusetzen sind.

[0028] Um die Anwendung der vorgestellten Methodik zu veranschaulichen, wird nachstehend ein Beispiel erläutert.

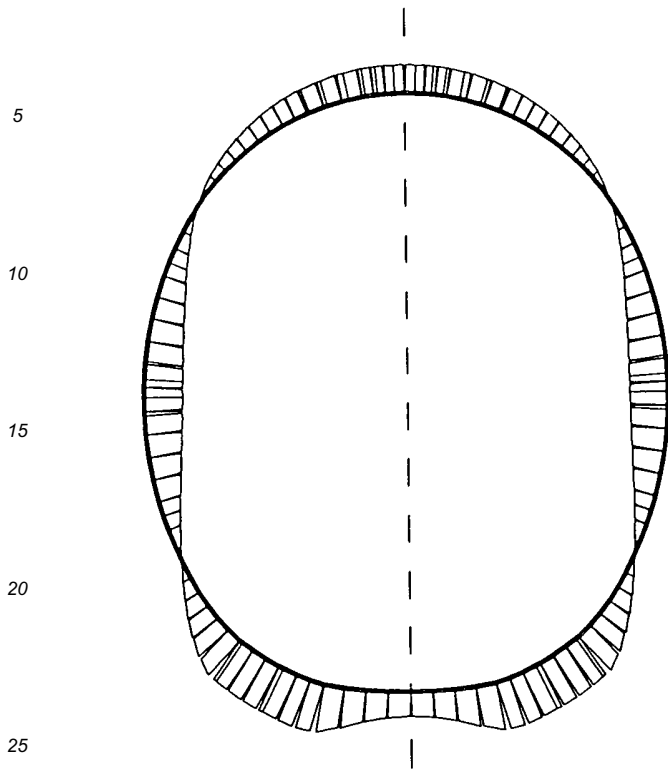
[0029] Gegeben sei ein üblicher, elastisch gebetteter Tunnelquerschnitt mit folgenden Querschnittsabmessungen:

Innenschalenquerschnitt = 40 cm
 Bewehrung innen, außen = 5 cm² /m
 Betongüte B300
 Stahlgüte ST 55
 Bettungsmodulus 100.000 kN/m²
 Innendurchmesser ca. 6 m
 Überlagerung = 10 m Lockerboden
 Wasserspiegel 2 m unter GOK
 Betondeckung außen = 5 cm
 Betondeckung innen = 10 cm
 Schutzbewehrung innen, d = 3 cm (dient zur Begrenzung der Abplatzungen bei Temperatureinfluß)

[0030] Die Brandbelastung wird konstant rund um den Tunnelquerschnitt angesetzt. Mit zunehmender Branddauer dringt die Temperaturbeanspruchung in den Querschnitt immer tiefer ein:

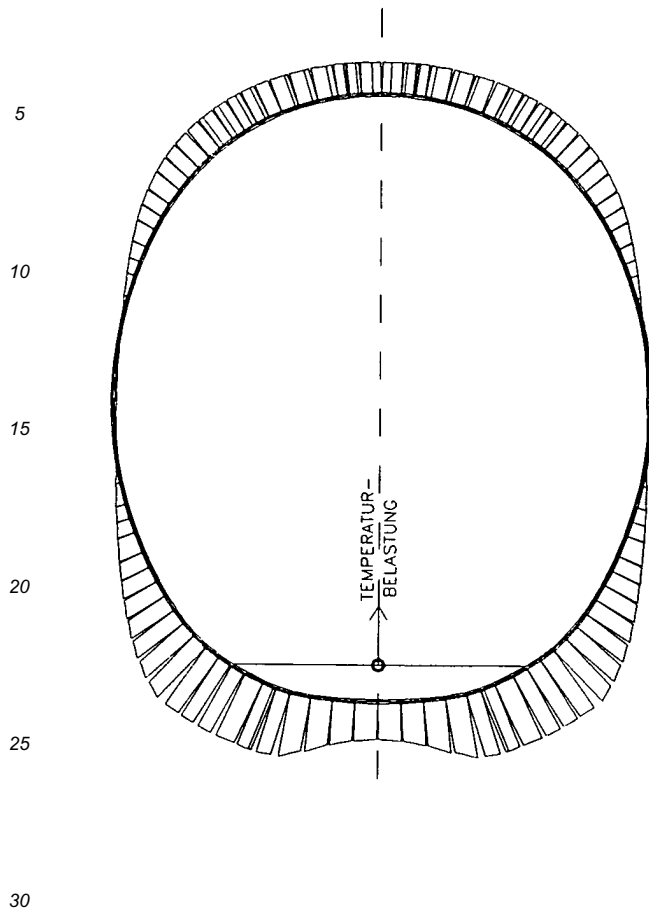


[0031] Für die Lastfälle Eigengewicht, Erddruck und Wasser ergeben sich die folgenden Schnittgrößen. Die Stahlbetonbemessung für diese Schnittgrößen erfordert den Einbau der Mindestbewehrung.



Schnittkraftverlauf $t = 0 \text{ min}$

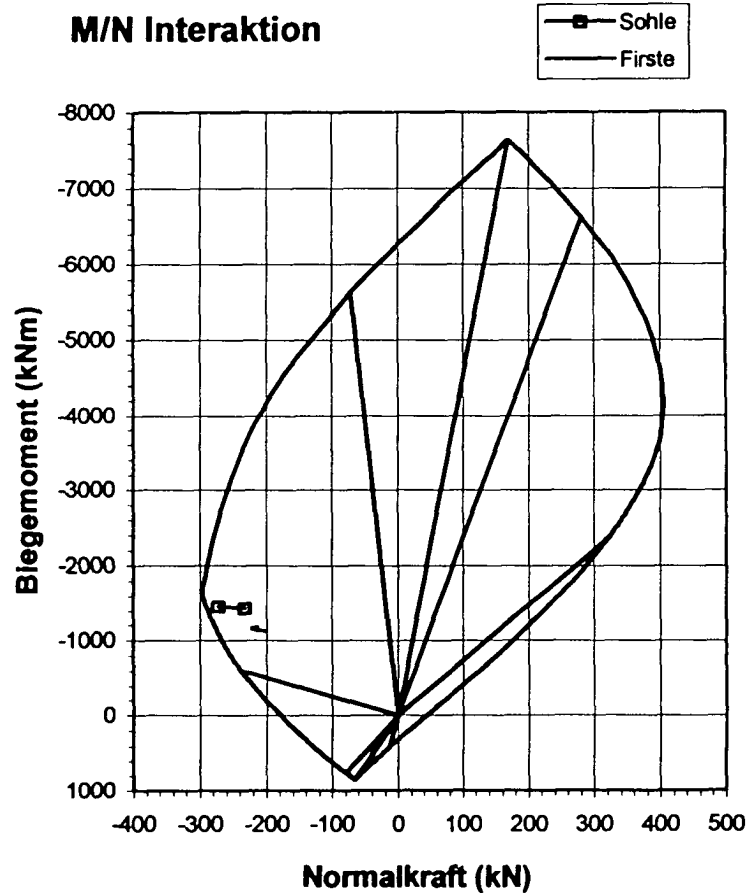
[0032] Die Schnittgrößen aus den Standardlastfällen sind nun mit den Schnittgrößen aus der Temperaturbelastung überlagert. Im nachfolgenden Bild sind lediglich die Schnittgrößen für den letzten Belastungszustand nach $t = 180 \text{ min}$ dargestellt.

Schnittkraftverlauf $t = 180 \text{ min}$

[0033] Nach der Durchrechnung verschiedener Zeitpunkte t zeigt sich, dass mit einer ständigen Zunahme der Normalkraft im System zu rechnen ist, die jedoch mit zunehmender Branddauer verflacht und von der Steifigkeit der Bettung abhängt.

[0034] Im Gegensatz dazu steigt zunächst die Momentenbelastung im Querschnitt enorm an und sinkt nach einem Maximum wieder entsprechend stark ab. Dies erklärt sich aus der Tatsache, dass bei Brandbeginn die innere Belastung durch die Temperaturgradienten äußerst exzentrisch wirkt, nach einer gewissen Branddauer jedoch zwar die Temperaturbeanspruchung noch immer zunimmt, aber wesentlich weniger exzentrisch wirkt.

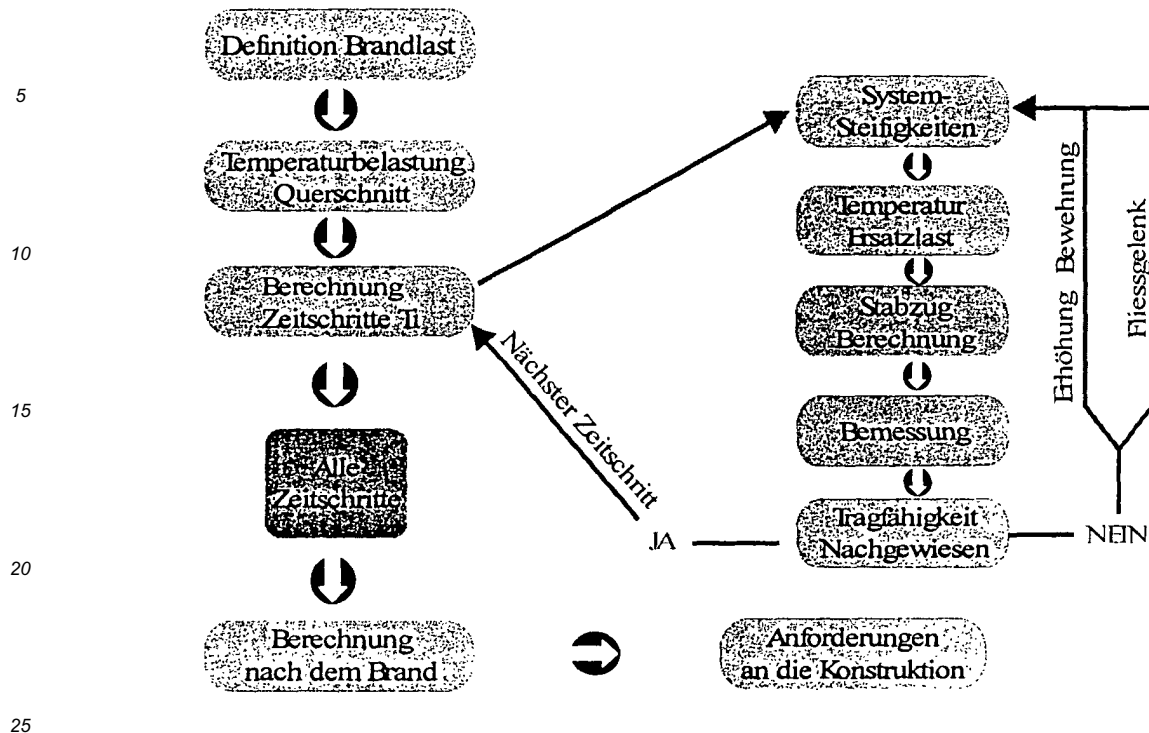
[0035] Der Nachweis der Tragsicherheit wird mit den zugehörigen Traglastkurven geführt. Im angeführten Beispiel zeigt sich, dass der Querschnitt auch nach einer Brandbelastung von 180 min noch immer eine Tragsicherheit von > 1 aufweist.



[0036] Es kann somit nachgewiesen werden, dass ohne zusätzliche Maßnahmen die Standsicherheit des Querschnittes mit einer Sicherheit > 1 auch während des Brandes gewährleistet ist.

[0037] Zusätzlich zu den angeführten Schritten ist zu beachten, dass im Zuge der Berechnung Querschnittsteile, deren Temperaturbelastung über 700 Grad C hinausgeht, ausgeschieden werden. Dies entspricht den definierten Materialeigenschaften.

[0038] Das erfindungsgemäße Berechnungsmodell verzichtet auf die Anwendung von komplexen numerischen Ansätzen und erlaubt auf der Basis der elementaren Festigkeitslehre und des Stahlbetonbaues unter Zuhilfenahme der linearen Stabstatik den Nachweis der Tragsicherheit von Tragsystemen unter Brandlast.



[0039] Mit diesem Berechnungsmodell kann der zumeist bei den Projektierungen fehlende Schritt der Traglastberechnung jedenfalls mit geringem Aufwand mit einbezogen werden und Maßnahmen wie Wärmedämmungen und andere konstruktive Maßnahmen auf deren Einfluß hin untersucht werden. Eine rein empirische Anordnung derartiger Maßnahmen kann damit entfallen. Auch kann der grundsätzlichen Anordnung von Wärmedämmungen in Form von Matten und Verputzen oder Schutzbetonen eine Alternative geboten werden, die ausschließlich auf die Prinzipien bewehrter Stahlbetontragwerke zurück greift.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Nachweis der Tragsicherheit von Tragsystemen unter Brandlast durch Berechnung der Veränderungen der Materialeigenschaften während des Brandes und der Restfestigkeit nach dem Brand unter Zugrundelegung von mittels Stabstatik gewonnener Daten, welche bereits aus der Konstruktion des Bauteiles hervorgegangen sind und welche sich auf die Auslegung des Bauteiles für Standardlastfälle wie Eigengewicht, Wasserlast, Erddruck und Nutzlast beziehen, **dadurch gekennzeichnet, dass** Eingangswerte zur Berechnung für den Bauteil unter Temperatureinwirkung wie folgt festgelegt werden

- durch Definition der Brandlast
- durch Festlegung eines beliebigen Zeitpunktes t und Berechnung der Temperaturbelastung über den gesamten Querschnitt zu diesem Zeitpunkt t und
- durch Festlegung der Materialeigenschaften unter Temperatureinfluß und nach Brandeinwirkung,

wobei mit diesen festgelegten Daten über die Querschnittshöhe des Bauteiles für jeden dieser Zeitschritte unter Berücksichtigung der unterschiedlichen nicht linearen Materialeigenschaften an jeder Stelle des Querschnittes durch Integration innerhalb festgelegter Grenzdehnungszustände

- die Traglastkurven für diesen Querschnitt zu diesem Zeitpunkt, das ist die Ermittlung der Tragfähigkeit des Querschnittes durch Bestimmung der Interaktion Biegemoment und Normalkraft mittels Traglastkurven
- die Umrechnung der aus der Temperaturlast resultierenden inneren Schnittkräfte in äquivalente äußere Temperaturlasten und
- die Bestimmung der jeweils für den betrachteten Querschnitt geltenden Systemsteifigkeiten, das sind Biegesteifigkeit und Dehnsteifigkeit

ermittelt werden und die sich unter Zuhilfenahme von Stabzugberechnungen ergebenden Schnittgrößen unter Berücksichtigung der geänderten Steifigkeiten und aufgetragener Ersatztemperaturlast gegen die dann geltenden Traglastkurven abgegrenzt werden.

- 5 **2.** Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** bei einem negativen Nachweis der Tragsicherheit des betreffenden Tragsystems die in Anspruch 1 angeführten Verfahrensschritte mit geänderten festzulegenden Materialeigenschaften so lange wiederholt werden, bis die gewünschte Tragsicherheit erreicht ist.
- 10 **3.** Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Materialeigenschaften durch Erhöhung der Bewehrung und/oder durch Erhöhung des Betonanteiles und/oder durch Einbeziehung eines Fließgelenkes in die Berechnung geändert werden.
- 15 **4.** Anwendung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** im Anschluß an die Erarbeitung der Konstruktionspläne zur Errichtung eines statisch belasteten Bauwerkes die Tragsicherheit dieses Bauwerkes für einen eventuellen Brandfall unter Zugrundelegung von mittels Stabstatik gewonnener Daten, welche bereits aus der Konstruktion des Bauteiles hervorgegangen sind und welche sich auf die Auslegung des Bauteiles für Standardlastfälle wie Eigengewicht, Wasserlast, Erddruck und Nutzlast beziehen, ermittelt und gegebenenfalls die Konstruktionsmerkmale soweit verändert werden, dass die Tragsicherheit bei Brandlast bzw. die erforderliche Restfestigkeit nach dem Brand gegeben ist.
- 20



Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 01 12 4843

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.7)
A	EP 0 758 773 A (PROMAT GMBH) 19. Februar 1997 (1997-02-19) ----		E04B1/94 A62C2/00 G06F17/50
A	DATABASE WPI Week 0007 Derwent Publications Ltd., London, GB; AN 2000-078199 XP002192366 & JP 11 326148 A (FUJITA KK & AL), 26. November 1999 (1999-11-26) * Zusammenfassung * -----		
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int.Cl.7)
			E04B A62C G06F
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort DEN HAAG		Abschlußdatum der Recherche 19. März 2002	
		Prüfer Porwoll, H	
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE			
X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet V : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

EPO FORM 1503 03/82 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 01 12 4843

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentedokumente angegeben.

Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

19-03-2002

Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 0758773	A	19-02-1997	EP 0758773 A1	19-02-1997
JP 11326148	A	26-11-1999	KEINE	

EPD FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82