



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
08.08.2001 Patentblatt 2001/32

(51) Int Cl.7: **G08B 17/00**

(21) Anmeldenummer: **00102318.3**

(22) Anmeldetag: **03.02.2000**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU
MC NL PT SE**
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL LT LV MK RO SI

• **Notz, Robert**
8706 Feldmeilen (CH)
• **Covelli, Bruno, Dr.**
5034 Suhr (CH)

(71) Anmelder: **Siemens Building Technologies AG**
8034 Zürich (CH)

(74) Vertreter: **Dittrich, Horst, Dr.**
Siemens Building Technologies AG,
Cerberus Division,
Alte Landstrasse 411
8708 Männedorf (CH)

(72) Erfinder:
• **Mägerle, Rudolf**
8708 Männedorf (CH)

(54) **Verfahren und Einrichtung zur Konfiguration eines Detektionssystems für Tunnelbrände**

(57) Das Detektionssystem für Tunnelbrände enthält einen linearen Wärmesensor mit einem Sensorkabel. Zur Konfiguration des Detektionssystems wird anhand von Parametern des Tunnels und des Sensorkabels sowie anhand eines Brandmodells die Brandentwicklung und die Alarmierungszeit berechnet und der Installationsort des Sensorkabels und die Alarmgrenzwerte des Detektionssystems werden so optimiert, dass ein möglicher Brand rasch und sicher detektiert wird. Die Einrichtung zur Konfiguration des Detektionssystems enthält folgende Komponenten:

- Speichermittel für die Speicherung von Parametern des Tunnels und des Sensorkabels und von Parametersätzen eines Brandmodells;
- Rechnermittel für die Berechnung der Brandentwicklung und der sich daraus ergebenden Erwärmung des Sensorkabels anhand der gespeicherten Parameter und Parametersätze;
- Eingabemittel für die Eingabe von Daten und Parametern;
- Anzeigemittel für die Anzeige und/oder Ausgabe der für bestimmte Parameter resultierenden Alarmierungszeiten oder der für vorgegebene Alarmgrenzwerte und Alarmierungszeiten anzuwendenden Parameter des Tunnels und des Sensorkabels.

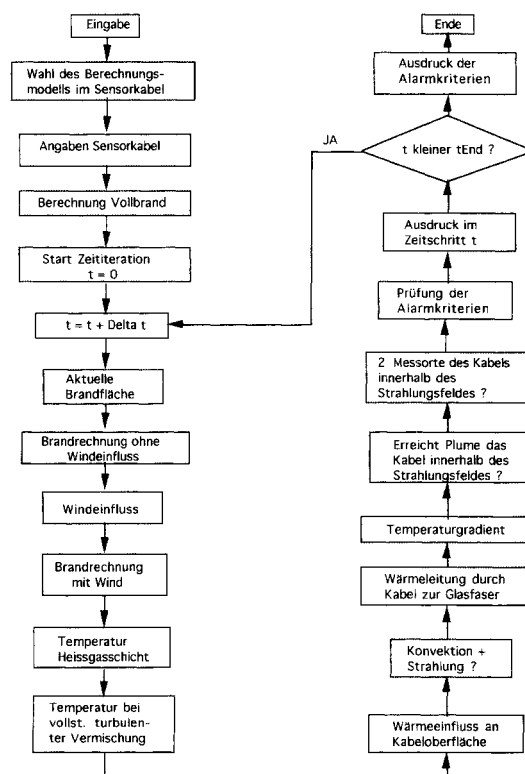


FIG.1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung liegt auf dem Gebiet der Detektion von Bränden in Tunnels, wofür heute Detektionssysteme mit einem linearen Wärmesensor verwendet werden. Ein derartiges Detektionssystem wird unter der Bezeichnung *FibroLaser* von der Siemens Building Technologies AG, Cerberus Division, früher Cerberus AG, vertrieben. Dieses System enthält ein an der Tunneldecke montiertes Glasfaserkabel, eine Laser-Lichtquelle und einen opto-elektronischen Empfänger. Das vom Laser erzeugte Licht wird in das Glasfaserkabel eingekoppelt und in dessen Längsrichtung geführt. Durch Wärmeeinwirkung verursachte Dichteschwankungen des Quarzglases bewirken eine kontinuierliche Streuung (Rayleigh-Streuung), die wiederum eine Dämpfung des Laserlichts bewirkt. Zusätzlich tritt durch thermische Gitterschwingungen des Glasmaterials eine weitere Lichtstreuung auf, die sogenannte Raman-Streuung.

[0002] Ein Bruchteil des Streulichts fällt in den Aperturwinkel des Wellenleiters und breitet sich sowohl in Vorwärts- als auch in Rückwärtsrichtung aus. Das Streulicht lässt sich mit dem opto-elektronischen Empfänger nachweisen; durch die Auswertung der Intensität bestimmter Rückstreuungsfrequenzen kann die lokale Glasfasertemperatur bestimmt werden. Die örtliche Auflösung des Temperaturverlaufs entlang des Glasfaserkabels erfolgt durch Dämpfungsmessung des Wellenleiterlichts. Die Grösse des Feuers ist eine Funktion der erwärmten Kabelstrecke: Eine kurze, erwärmte Strecke entspricht einem kleinen und eine lange, erwärmte Strecke entspricht einem grossen Feuer.

[0003] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Konfiguration eines einen linearen Wärmesensor mit einem Sensorkabel enthaltenden Detektionssystems für Tunnelbrände. Das erfindungsgemässe Verfahren soll es ermöglichen, Detektionssysteme für Tunnelbrände schon bei der Planung mit hoher Flexibilität auf die physikalischen und örtlichen Gegebenheiten eines Tunnels individuell einstellen zu können.

[0004] Die gestellte Aufgabe wird erfindungsgemäss dadurch gelöst, dass anhand von Parametern des Tunnels und des Sensorkabels sowie anhand eines Brandmodells die Brandentwicklung und die Alarmierungszeit berechnet und der Installationsort des Sensorkabels und die Alarmgrenzwerte des Detektionssystems so optimiert werden, dass ein möglicher Brand rasch und sicher detektiert wird.

[0005] Das erfindungsgemässe Verfahren ist im wesentlichen ein Modell zur Simulation von verschiedenen Bränden in einem Tunnel für die effiziente und zielgerichtete Planung von neuen Anlagen und für die Festlegung der entsprechenden Testfeuer für die Erprobung dieser Anlagen.

[0006] Eine erste bevorzugte Ausführungsform des erfindungsgemässen Verfahrens ist dadurch gekennzeichnet, dass die Parameter des Tunnels Daten über die Tunnelabmessungen und die Windverhältnisse im

Tunnel enthalten.

[0007] Eine zweite bevorzugte Ausführungsform des erfindungsgemässen Verfahrens ist dadurch gekennzeichnet, dass die Parameter des Sensorkabels durch die physikalischen Eigenschaften des Kabels, dessen Position und Verlegegeometrie und durch die Physik der Messtechnik bestimmt sind.

[0008] Eine dritte bevorzugte Ausführungsform ist dadurch gekennzeichnet, dass das Brandmodell aus Teilmodellen besteht, die aus theoretischen Berechnungen und praktischen Erfahrungen gewonnene Parametersätze enthalten.

[0009] Vorzugsweise enthält das Brandmodell die beiden Teilmodelle Brandentwicklung in der Reaktionszone und Verhalten der Brandgase in der Abkühlzone oberhalb der Reaktionszone.

[0010] Beim Teilmodell Brandentwicklung erfolgt eine Berechnung der Reaktionsenthalpie, der Energiebilanz und des Auftriebs in der Reaktionszone und der Brandentwicklung. Beim Teilmodell Verhalten der Brandgase in der Abkühlzone (sogenanntes Plume-Modell) erfolgt im wesentlichen eine Berechnung des Verhaltens des Stroms der heissen Brandgase aufgrund der Vermischung mit dem umgebenden Gas in einer turbulenten Grenzzone.

[0011] Die Erfindung betrifft weiter eine Einrichtung zur Konfiguration eines einen linearen Wärmesensor mit einem Sensorkabel enthaltenden Detektionssystems für Tunnelbrände. Die erfindungsgemässe Einrichtung ist gekennzeichnet durch folgende Komponenten:

- a. Speichermittel für die Speicherung von Parametern des Tunnels und des Sensorkabels und von Parametersätzen eines Brandmodells;
- b. Rechnermittel für die Berechnung der Brandentwicklung und der sich daraus ergebenden Erwärmung des Sensorkabels anhand der gespeicherten Parameter und Parametersätze;
- c. Eingabemittel für die Eingabe von Daten und Parametern;
- d. Anzeigemittel für die Anzeige und/oder Ausgabe der für bestimmte Parameter resultierenden Alarmierungszeiten oder der für vorgegebene Alarmgrenzwerte und Alarmierungszeiten anzuwendenden Parameter des Tunnels und des Sensorkabels.

[0012] Beispielsweise ist die erfindungsgemässe Einrichtung durch einen Laptop oder einen anderen transportablen Rechner mit einer Eingabetastatur, einem Bildschirm, einem Druckeranschluss und einem CD-ROM-Laufwerk gebildet, wobei die Parametersätze des Brandmodells und die Programme für die Berechnung der Brandentwicklung, der Erwärmung des Sensorkabels und der Alarmierungszeiten auf einer CD-ROM gespeichert und die Parameter des Tunnels und des Sensorkabels mit der Eingabetastatur eingebbar sind.

[0013] Im folgenden wird die Erfindung anhand eines

Ausführungsbeispiels und der Zeichnungen näher erläutert; es zeigt:

- Fig. 1 ein Flussdiagramm des Hauptprogramms zur Berechnung der Alarmierungszeiten eines einen Wärmesensor enthaltenden Detektionssystems für Tunnelbrände,
 Fig. 2 ein Flussdiagramm des Unterprogramms zur Berechnung der Brandentwicklung; und
 Fig. 3 ein Flussdiagramm des Unterprogramms zur Temperaturberechnung im Sensorkabel.

[0014] Erfahrungen in der Detektion von Tunnelbränden zeigen, dass für eine zuverlässige und rasche Branddetektion das Abbrandverhalten und die Grösse der Feuer, die Windverhältnisse, die Tunnelgeometrie, die räumliche Anordnung der Sensoren und der Ort des Feuers berücksichtigt werden müssen. Dabei kommt in vielen Fällen ein Detektionssystem mit einem linearen Wärmesensor zur Anwendung, wie es beispielsweise von der Siemens Building Technologies AG, Cerberus Division, früher Cerberus AG, unter der Bezeichnung *FibroLaser* angeboten wird. Der FibroLaser wird als bekannt vorausgesetzt; es wird in diesem Zusammenhang auf die Einleitung der vorliegenden Beschreibung und auf die Prospekte des FibroLaser-Systems verwiesen.

[0015] Da es wegen der komplexen thermodynamischen Vorgänge bei einem Brand nahezu unmöglich ist, alle Einflussgrössen auch nur einigermaßen zu berücksichtigen, ist die Konfiguration eines Detektionssystems mit einem linearen Wärmesensor ausserordentlich aufwendig und zeitraubend und mit vielen praktischen Versuchen verbunden. Das vorliegende Verfahren erleichtert die Konfiguration ganz wesentlich, indem es dem Applikationsingenieur ein durch Versuche im Labor- und Grossmassstab bestätigtes Simulationsprogramm zur Verfügung stellt, mit dem die aus gegebenen Anlageparametern resultierende Alarmierungszeit berechnet wird und somit die Anlageparameter auf eine vorgegebene Alarmierungszeit abgestimmt werden können.

[0016] Das Berechnungsverfahren stützt sich auf eine thermodynamische Modellierung der Brandvorgänge, wobei die thermodynamischen Modelle die Erhaltungsgrössen der Physik (Masse, Energie, Impuls) erfüllen und nur wenige empirische Werte benötigen. Das Simulationsmodell besteht aus folgenden Teilmodellen:

- Berechnung der Reaktionsenthalpie aufgrund einer Elementaranalyse der Brandstoffe
- Energiebilanz und Massenbilanz in der Reaktionszone
- Länge der Reaktionszone
- Energiebilanz im Plume (= Abkühlzone oberhalb der Reaktionszone)
- Strömungsmechanik im Plume unter Zugrundelegung eines Freistrahlmmodells
- Einfluss des Windes im Tunnel auf Reaktionszone und Plume

- Brandentwicklung
- Wärmeaustausch durch Strahlung und Konvektion sowie Wärmeleitung im Sensorkabel

[0017] Das Simulationsmodell erhält insbesondere die folgenden Eingabeparameter:

- Feuerdurchmesser: Durchmesser des mit der gesamten Oberfläche des Brennstoffs flächengleichen Kreises.
- Tunnelhöhe: Abstand zwischen Fahrbahn und Tunnelhöhe, wobei bei einem Tunnel mit gewölbter Decke in der Regel eine mittlere Deckenhöhe im Gewölbebereich angenommen wird, die aber in jedem Fall oberhalb des Sensorkabels liegen muss.
- Tunnelbreite: Kürzester Abstand der Tunnelwände auf halber Tunnelhöhe.
- Abstand Sensor - Boden: Kürzester Abstand zwischen Sensorkabel und Fahrbahn; dieser Abstand ist immer kleiner als die Tunnelhöhe.
- Abstand Sensor - Brand: Kürzester Abstand zwischen der Mitte der Brandoberfläche und dem Sensorkabel; dieser Abstand ist in der Regel grösser als der Abstand zwischen Sensor und Boden.
- Wind: Die Windgeschwindigkeit entspricht der über den Tunnelquerschnitt gemittelten Luftgeschwindigkeit entlang der Fahrbahn. Falls durch Ventilatoren eine starke Querströmung angeregt wird, die grösser ist als die Windgeschwindigkeit längs der Fahrbahn, wird die Quergeschwindigkeit eingesetzt.
- Wind im Bereich des Sensorkabels: Der Wind im Tunnel weist ein Profil auf, das in der Regel an den Wänden und an der Decke gegen null strebt. Falls das Sensorkabel nahe an der Decke oder einer Wand montiert ist, muss dieser Effekt berücksichtigt werden. Die Richtwerte sind einer Tabelle entnehmbar.
- Tunnelndruck: Umgebungsdruck im Brandbereich; hängt vor allem von der Meereshöhe ab.
- Tunneltemperatur: Umgebungstemperatur im Brandbereich; hat im Winter einen Einfluss auf die Auslösung der Alarmtemperatur im Detektionssystem.
- Sensordurchmesser: Aussendurchmesser des Sensorkabels.
- Alarmtemperatur: Temperaturschwellwert, bei dessen Erreichen/Überschreitung das Detektionssystem einen Brandalarm melden soll. Dieser Wert liegt in der Regel im Bereich von 50° bis 80°C. Alarmtemperaturen unter 50°C können im Ein- und Ausfahrtsbereich der Tunnel Fehlalarm auslösen.
- Gradient der Alarmtemperatur: Aus der Zunahme der Temperatur über die Zeit wird der Gradient bestimmt, der den Schwellwert für die Auslösung eines Brandalarms bildet. Falls die Temperatur pro Sekunde schneller als der Schwellwert ansteigt, wird Alarm ausgelöst. In der Regel beträgt dieser

Schwellwert $0.1^{\circ}\text{C}/\text{sec}$, entsprechend 6°C pro Minute.

- Brandbeschleunigungsrate: Bei uneingeschränkter Luftzufuhr zum Brandherd wächst die Brandzuwachsrate linear mit der Zeit an. Für die Abbrandleistung Q^* eines Feuers mit der Brandfläche A zum Zeitpunkt t gilt $Q^* = A \cdot B \cdot t^2$, wobei die sogenannte Brandbeschleunigungsrate B ein Mass für die Brandentwicklung bis zum Vollbrand ist. Für B existieren Erfahrungswerte, die in einer Tabelle gespeichert sind.

[0018] Grundsätzlich gilt für alle genannten Parameter, dass immer vom schlimmsten Fall ausgegangen wird. Dieser ist z.B. für den Abstand zwischen Sensor und Brand die Länge der Diagonale vom Sensorkabel zum Fahrbahnrand. Selbstverständlich liegt eine brennende Abdeckplane eines LKW wesentlich näher am Sensorkabel, aber das ist kein Problem, weil ein solcher Brand wesentlich früher detektiert würde. Der Feuerdurchmesser, das ist die Brandoberfläche, ist bei Personen- und Lastkraftwagen in Tunnels bekannt, und wird beispielsweise mit 1 Meter angenommen, was einer Brandoberfläche von etwa 0.8 m^2 entspricht.

[0019] Fig. 1 zeigt ein Flussdiagramm des Hauptprogramms zur Berechnung der Alarmierungszeiten des erfindungsgemässen Detektionssystems für Tunnelbrände. In einem ersten Schritt werden die erforderlichen Parameter des Tunnels und des Sensorkabels eingegeben; die Parametersätze des Brandmodells sind im System gespeichert.

[0020] Dann erfolgt die Wahl des Berechnungsmodells im Sensorkabel. Dieses besteht aus einer mit Wärmeleitpaste umhüllten Glasfaser, einer die Glasfaser mit ihrer Umhüllung umgebenden Stahlkapillare mit einem Durchmesser von beispielsweise 1.6 mm und einem Aussenmantel aus Polyethylen mit einem Durchmesser von etwa 8 mm. Das Sensorkabel wird sowohl durch umströmende Brandgase (konvektiver Wärmeaustausch) als auch durch Strahlung erwärmt, wobei beide Arten von Wärmequellen getrennt oder gleichzeitig auftreten können. Für die Erwärmung des Kabels und der Glasfaser können zwei verschiedene Berechnungsmodelle, das homogene Modell und das Differentialmodell, angewandt werden, die sich in der Genauigkeit und in der Rechengeschwindigkeit unterscheiden.

[0021] Beim homogenen Modell wird das Temperaturprofil durch den Aussenmantel vernachlässigt und es wird angenommen, dass das gesamte Kabel auf eine mittlere Temperatur geheizt wird. Beim Differentialmodell, welches wesentlich mehr Rechenzeit erfordert, erfolgt die exakte Berechnung der Erwärmung der Glasfaser im Sensorkabel durch die Lösung der instationären Wärmeleitungsgleichung zweiter Ordnung. Im vorliegenden Fall muss diese Gleichung als gekoppeltes Differentialgleichungssystem erweitert werden, da das Sensorkabel verschiedene Schichten aufweist. Das Unterprogramm für das Differentialmodell zur Temperatur-

berechnung im Sensorkabel ist in Fig. 3 dargestellt.

[0022] Nach der Eingabe der technischen Daten über das Sensorkabel erfolgt eine Berechnung des Vollbrandes ohne Windeinfluss gemäss dem Unterprogramm von Fig 2. Dieses liefert die Temperatur in der Reaktionszone (Flammenzone) und im Plume, also die beiden für die Erwärmung des Sensorkabels verantwortlichen Grössen. Gemäss Fig. 2 werden zur Berechnung des Vollbrandes die thermodynamischen Startwerte und die Startwerte für die Abbrandrate WBSR eingegeben, wobei mit Abbrandrate die Brandentwicklung bis zum Vollbrand bezeichnet ist. Der Startwert für die Abbrandrate wird in Schritten ΔW iteriert bis die Abbrandrate den der Gesamt-Massenbilanz entsprechenden Wert erfüllt.

[0023] Bei einem Brand werden Stoffe im Brandgut mit dem Luftsauerstoff in der Reaktionszone oxidiert, wobei die durch diese Oxidationsreaktionen freigesetzte Wärmeenergie die Gase in der Reaktionszone erhitzt. Bei den meisten Bränden oxidieren die Elemente Kohlenstoff, Wasserstoff und Schwefel; im Brandgut eventuell enthaltene Halogene reagieren vorzugsweise mit dem Wasserstoff. Für die Simulation wird der Gehalt an Halogenen ebenso wie der an seltenen Metallen als vernachlässigbar angenommen.

[0024] In der Reaktionszone bilden sich dann vor allem CO_2 , H_2O und SO_2 , wobei bestimmte Wärmemengen pro Mol freigesetzt werden. Bei Sauerstoff-Mangel bildet sich vermehrt CO und gleichzeitig spielt die Wassergasreaktion eine wichtige Rolle, wobei diese energiezehrende Reduktion vom Angebot der Edukte und von der Temperatur in der Reaktionszone abhängig ist. Aus dem bekannten Reaktionsschema kann der Sauerstoffbedarf bei idealer, vollständiger Verbrennung stöchiometrisch bestimmt werden und aus diesem, der Brandmasse und dem Massenanteil der Zuluft die stöchiometrische Luftmasse.

[0025] Bei einem Feuer mit Naturkonvektion wird in der Reaktionszone mehr Luft umgesetzt als die Stöchiometrie der Verbrennungsreaktionen verlangt, diese Mehrluft ist die Luftüberschusszahl. Man kann diese aus dem sogenannten k_B -Faktor berechnen, der zur Ermittlung des minimalen Sauerstoffanteils aus den Richtlinien für Inertgaslöschanlagen verwendet wird. Der minimale Sauerstoffanteil ist die zur Aufrechterhaltung der Verbrennungsreaktionen erforderliche O_2 -Konzentration, die über dem stöchiometrischen Luftbedarf liegen kann.

[0026] Bei einer unvollständigen Verbrennung bildet sich auf Kosten von CO_2 vermehrt CO und freier Wasserstoff. In diesem Fall ist der Sauerstoffbedarf grösser als die Zuluft in der Reaktionszone nachliefern kann. Man kann aus den Massenanteilen von Kohlenstoff, Wasserstoff, Schwefel und Sauerstoff im Brandgut und aus dem Massenanteil der Zuluft den Anteil von CO_2 im Brandgas und daraus die anderen Reaktionsprodukte und die Reaktionsenthalpien ermitteln.

[0027] Die freigesetzte Verbrennungswärme oder Reaktionsenthalpie des Brandstoffes lässt sich eben-

falls stöchiometrisch ermitteln. Ausserdem sind die Verbrennungsenthalpien der meisten Stoffe in den brandtechnischen Vorschriften (Sprinkler-Richtlinien, DIN 4201, DIN 18232, usw.) experimentell bestimmt worden und können entsprechenden Tabellen entnommen werden.

[0028] Aus der Brandgas-Zusammensetzung in der Reaktionszone wird die Heizleistung in der Reaktionszone berechnet und die sich dabei ergebende Temperatur wird mit der Flammenlänge und der Enthalpie- und Massenbilanz iteriert. Schliesslich wird aus dem Gasvolumenstrom und der Gasgeschwindigkeit über der Reaktionszone die Impulsbilanz im Bereich der Reaktionszone ermittelt und es erfolgt eine Iteration der Abbrandrate nach der Gesamt-Massenbilanz. Sobald die Abbrandrate den der gewünschten Branddauer entsprechenden Wert erfüllt, wird noch die Plume-Entwicklung von der Reaktionszone bis zur Decke in die Impuls-, Massen- und Enthalpiebilanz miteinbezogen und es wird die Luftzumischung und Windkorrektur berücksichtigt.

[0029] In der Abkühlzone oberhalb der Reaktionszone vermischen sich die heissen Brandgase in einer turbulenten Grenzzone mit dem umgebenden Gas, z.B. Luft, wodurch sich der vertikal nach oben strömende Gasstrom aufweitet. Für die Simulation wird angenommen, dass das Verhalten der aufsteigenden Brandgase einem turbulenten Freistrahle mit der Reaktionszone als Strahlkern entspricht. Die Abnahme der Temperatur in Funktion der Höhe kann mit einer Energiebilanz über die Höhenschicht erfasst und die mittlere Aufstiegs- geschwindigkeit kann mittels einer Impulsbilanz über den lokalen Plume-Querschnitt erfasst werden, so dass sich schliesslich die lokale Geschwindigkeitsabnahme im Plume ergibt.

[0030] Es wird angenommen, dass der Plume sich wie ein turbulenter Freistrahle öffnet, bei dem der Öffnungswinkel um 8° bis 15° beträgt. Diese Winkelabhängigkeit kann aus der Druckdifferenz zwischen Strahl und Umgebung ermittelt werden. Bei Windgeschwindigkeiten bis zu 10 m/s bildet sich im Tunnelquerschnitt eine turbulente Längsströmung aus, deren Turbulenzballen wesentlich kleiner sind als der Tunnelquerschnitt. Diese Luftströmung kann man trotz der hohen Reynoldszahl im Bereich von 10^6 im Vergleich zu den Tunnelabmessungen als laminar bezeichnen. Unter diesem Gesichtspunkt ist die Annahme zulässig, dass sich der Impulsstrom des Windes dem Impulsstrom des Plumes überlagert, so dass die Gase im Plume durch den Wind fortgetragen werden, ohne dass der Plume vollständig verwirbelt wird. Der Plume erhält durch den Windeinfluss einen bestimmten Neigungswinkel, der aus dem Verhältnis der Gasgeschwindigkeit im Plume zur Windgeschwindigkeit im Tunnel ermittelt werden kann.

[0031] Als Ergebnis des Unterprogramms zur Berechnung der Brandentwicklung erhält man die Temperatur in der Reaktionszone und die Temperatur im Plume bei Vollbrand.

[0032] Anschliessend wird die Zeititeration gestartet, wobei alle thermodynamischen Zustände in Zeitschritten Δt von 1 Sekunde berechnet werden, was eine genaue Abbildung der Brandentwicklung ermöglicht. Die Simulation läuft eine bestimmte maximale Zeit t_{End} von einigen Minuten und wird bei Erreichen von t_{End} mit der Anzeige und/oder dem Ausdruck der Alarmkriterien beendet. Wie Fig. 1 zu entnehmen ist, wird die aktuelle Brandfläche eingegeben und anschliessend der Brand ohne Windeinfluss berechnet. Dann wird der Windeinfluss auf Reaktionszone und Plume eingegeben, ebenso wie die Strecke von der Brandfläche zum Detektor- kabel. Anschliessend erfolgt mit der Temperatur in der Reaktionszone und im Plume die Brandberechnung mit Wind, die Berechnung der Temperatur der turbulenten Heissgasschicht und der Temperatur bei vollständiger turbulenter Vermischung im Tunnelquerschnitt. Dann wird der Wärmefluss in die Kabeloberfläche (Konvektion oder Strahlung) ermittelt und es erfolgt eine Abschätzung, ob Konvektionswärme und Strahlung gemeinsam auf das Kabel wirken.

[0033] Dann erfolgt die Berechnung der Wärmeleitung durch das Sensorkabel zur Glasfaser nach dem in Fig. 3 dargestellten Differentialmodell. Gemäss Fig. 3 werden die Stoffdaten des Kabels und die Anfangs- und Randbedingungen zur Zeit $t=0$ eingegeben und es wird der Integrationsschritt Δt_k festgelegt. Dieser beträgt beispielsweise 10^{-3} Sekunden. Die Berechnung des Temperaturprofils im Kabel erfolgt alle 10^{-3} Sekunden, der Wert wird aber entsprechend dem Zeitschritt im Hauptprogramm nur alle $t_k = t_n$, also beispielsweise jede Sekunde, ins Hauptprogramm übernommen. Dann wird die Wärmeleitungsgleichung zweiter Ordnung mit dem Differenzverfahren gelöst und nach der Zeit t_n steht jeweils das Temperaturprofil im Kabel zur Verfügung.

[0034] Mit dem Temperaturprofil im Kabel wird dann im Hauptprogramm der Temperaturgradient gebildet. Dann wird überprüft, ob bei der Simulation der Plume das Kabel innerhalb des Strahlungsfeldes erreicht; wenn ja, liegt eine Superposition von Konvektion und Strahlung vor. Anschliessend erfolgt ein Test, ob zwei Messorte des Kabels innerhalb des Strahlungsfeldes liegen; wenn nein, liegt eine Dämpfung der Strahlungsoberflächentemperatur vor. Schliesslich werden die Alarmkriterien geprüft und die Alarmierungszeit wird im Zeitschritt t ausgedruckt. Nach Erreichen der vorgegebenen Gesamtdauer der Simulation t_{End} werden die Alarmkriterien ausgedruckt und die Simulation ist beendet.

[0035] Der Anwender weiss jetzt, ob die angestrebte Alarmierungszeit mit den eingegebenen Parametern erreicht werden kann, oder ob die oder einige der Parameter geändert werden müssen.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Konfiguration eines einen linearen

Wärmesensor mit einem Sensorkabel enthaltenden Detektionssystems für Tunnelbrände, dadurch gekennzeichnet, dass anhand von Parametern des Tunnels und des Sensorkabels sowie anhand eines Brandmodells die Brandentwicklung und die Alarmierungszeit berechnet und der Installationsort des Sensorkabels und die Alarmgrenzwerte des Detektionssystems so optimiert werden, dass ein möglicher Brand rasch und sicher detektiert wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1 dadurch gekennzeichnet, dass die Parameter des Tunnels Daten über die Tunnelabmessungen und die Windverhältnisse im Tunnel enthalten.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Parameter des Sensorkabels durch die physikalischen Eigenschaften des Kabels, dessen Position und Verlegegeometrie und durch die Physik der Messtechnik bestimmt sind.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass das Brandmodell aus Teilmodellen besteht, die aus theoretischen Berechnungen und praktischen Erfahrungen gewonnene Parametersätze enthalten.

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass das Brandmodell ein Teilmodell Brandentwicklung in der Reaktionszone und ein Teilmodell Verhalten der Brandgase in der Abkühlzone oberhalb der Reaktionszone enthält.

6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass beim Teilmodell Brandentwicklung eine Berechnung der Reaktionsenthalpie, der Energiebilanz und des Auftriebs in der reaktionszone und der Brandentwicklung erfolgt.

7. Verfahren nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass beim Teilmodell Verhalten der Brandgase in der Abkühlzone eine Berechnung des Verhaltens des Stroms der heißen Brandgase aufgrund der Vermischung mit dem umgebenden Gas in einer turbulenten Grenzzone erfolgt.

8. Einrichtung zur Konfiguration eines einen linearen Wärmesensor mit einem Sensorkabel enthaltenden Detektionssystems für Tunnelbrände, gekennzeichnet durch folgende Komponenten:

- a. Speichermittel für die Speicherung von Parametern des Tunnels und des Sensorkabels und von Parametersätzen eines Brandmodells;
- b. Rechnermittel für die Berechnung der Brandentwicklung und der sich daraus ergebenden Erwärmung des Sensorkabels anhand der gespeicherten Parameter und Parametersätze;

c. Eingabemittel für die Eingabe von Daten und Parametern;

d. Anzeigemittel für die Anzeige und/oder Ausgabe der für bestimmte Parameter resultierenden Alarmierungszeiten oder der für vorgegebene Alarmgrenzwerte und Alarmierungszeiten anzuwendenden Parameter des Tunnels und des Sensorkabels.

9. Einrichtung nach Anspruch 8, gekennzeichnet durch einen Laptop oder einen anderen transportablen Rechner mit einer Eingabetastatur, einem Bildschirm, einem Druckeranschluss und einem CD-ROM-Laufwerk, wobei die Parametersätze des Brandmodells und die Programme für die Berechnung der Brandentwicklung, der Erwärmung des Sensorkabels und der Alarmierungszeiten auf einer CD-ROM-gespeichert und die Parameter des Tunnels und des Sensorkabels mit der Eingabetastatur einbaubar sind.

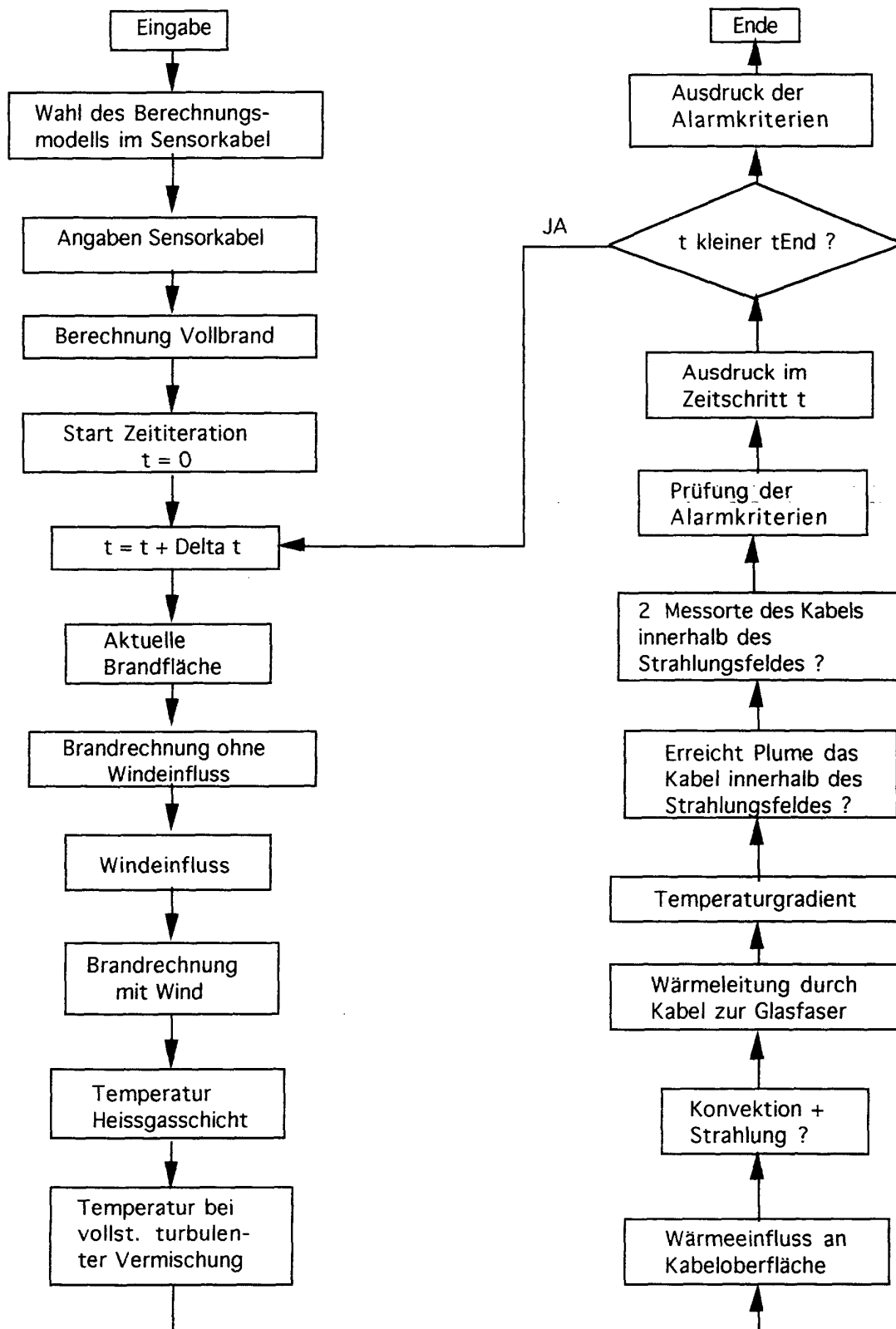


FIG. 1

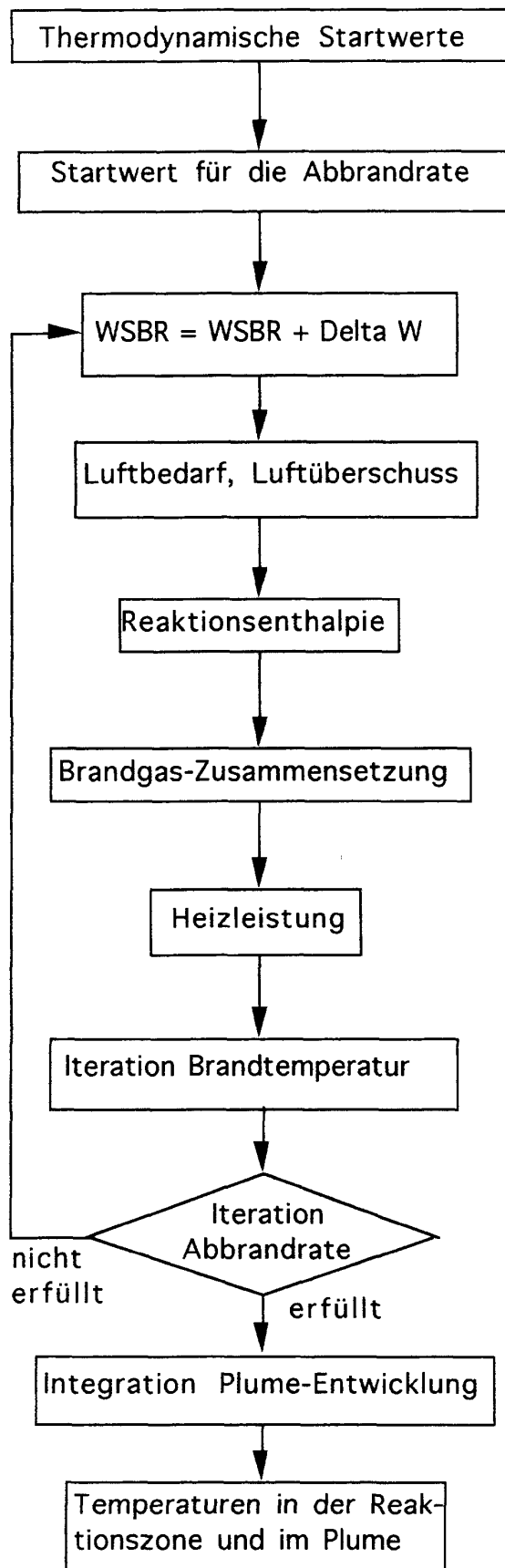


FIG. 2

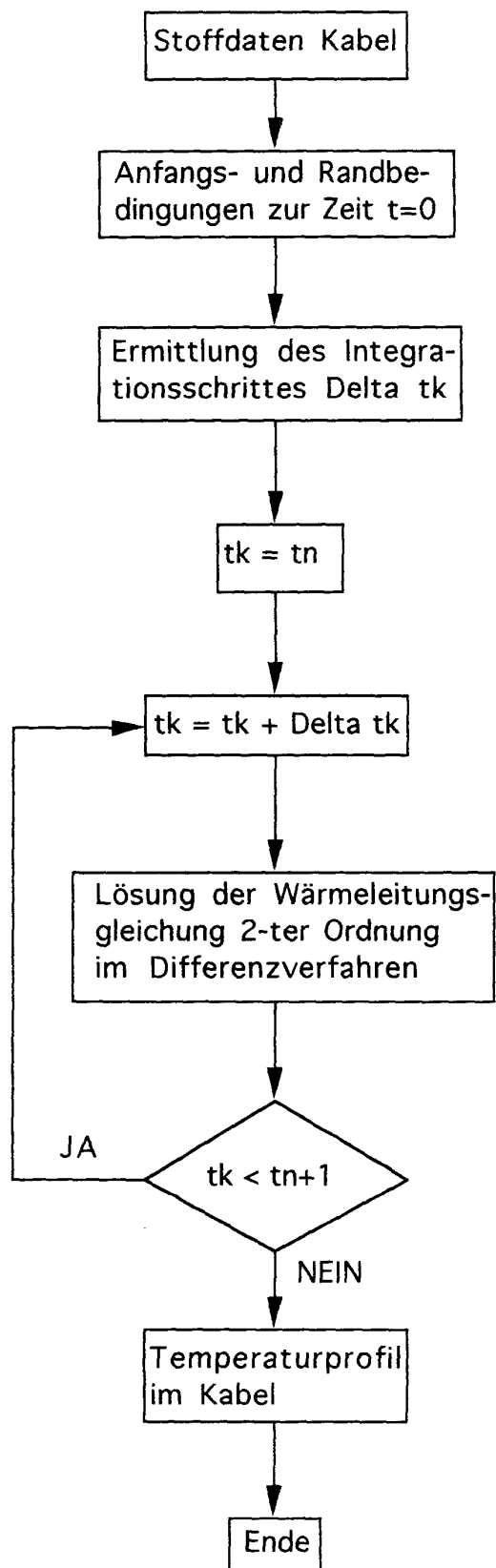


FIG. 3



Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 00 10 2318

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.7)
Y	BEARD E.A.: "PREDICTING THE EFFECTS OF DESIGN PARAMETER VARIATIONS ON MAJOR FIRE SPREAD IN A TUNNEL" INT. COMM. HEAT MASS TRANSFER, Bd. 23, Nr. 4, Juni 1996 (1996-06) - Juli 1996 (1996-07), Seiten 495-504, XP000920504 CHICAGO	1,8	G08B17/00
A	* das ganze Dokument *	2-6	
Y	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 1998, no. 08, 30. Juni 1998 (1998-06-30) -& JP 10 062212 A (MITSUBISHI HEAVY IND LTD), 6. März 1998 (1998-03-06) * Zusammenfassung *	1,8	
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 016, no. 231 (P-1361), 28. Mai 1992 (1992-05-28) -& JP 04 048398 A (HITACHI LTD; OTHERS: 02), 18. Februar 1992 (1992-02-18) * Zusammenfassung *	1-8	
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 018, no. 042 (P-1680), 21. Januar 1994 (1994-01-21) -& JP 05 266373 A (OKI ELECTRIC IND CO LTD), 15. Oktober 1993 (1993-10-15) * Zusammenfassung *	1,2,8	
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 2000, no. 02, 29. Februar 2000 (2000-02-29) -& JP 11 311100 A (MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD), 9. November 1999 (1999-11-09) * Zusammenfassung *	1,8	
		-/--	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort		Abschlußdatum der Recherche	Prüfer
DEN HAAG		14. Juni 2000	Ramboer, P
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE			
X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentedokument, 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 (P4/C03)



Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 00 10 2318

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.7)
A	CHOW E.A.: "A SHORT NOTE ON ACHIEVING CONVERGENT RESULTS IN SIMULATING BUILDING FIRE USING THE K-EPSILON TURBULENT MODEL" NUMERICAL HEAT TRANSFER PART A, Bd. 17, Nr. 4, Juni 1990 (1990-06), Seiten 495-501, XP000920516 UK * das ganze Dokument * -----	1-7	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int.Cl.7)
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort DEN HAAG		Abschlußdatum der Recherche 14. Juni 2000	Prüfer Ramboer, P
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche 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 00 10 2318

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.

14-06-2000

Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
JP 10062212 A	06-03-1998	KEINE	
JP 04048398 A	18-02-1992	JP 2904550 B	14-06-1999
JP 05266373 A	15-10-1993	JP 3025041 B	27-03-2000
JP 11311100 A	09-11-1999	KEINE	

EPO FORM P0461

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