



Republik
Österreich
Patentamt

(11) Nummer: **AT 401 971 B**

(12)

PATENTCHRIFT

(21) Anmeldenummer: 1999/92

(51) Int.Cl.⁶ : **G01J 5/02**

(22) Anmeldetag: 12.10.1992

(42) Beginn der Patentdauer: 15. 7.1994

(45) Ausgabetag: 27. 1.1997

(56) Entgegenhaltungen:

JP 59-225321A

(73) Patentinhaber:

GIGERL JOHANN
A-3100 ST. PÖLTEN, NIEDERÖSTERREICH (AT).

(54) THERMOGRAFIEVERFAHREN

(57) Infrarot-Thermografie-Verfahren zur genauen Temperaturmessung mittels Infrarotstrahlung im Wellenlängenbereich von 8-14µm mit Hilfe zweier eigens zusammengesetzten Kalibriersubstanzen, wobei die 1. Substanz mit dem Em-Wert:0,929 für den Temperaturbereich von -50°C bis +200°C, die 2. Substanz mit dem Em-Wert von Em:0,927 für den Temperaturbereich +200°C bis +2000°C eingesetzt wird. Das gesamte Meßverfahren gliedert sich in die Herstellung der Kalibriersubstanz, die Aufbringung auf das Objekt, die Messung der Temperaturstrahlung unter Berücksichtigung der Kalibriersubstanz und die Auswertung und Analyse der Messung.

AT 401 971 B

Die Erfindung betrifft ein Thermografieverfahren zur genauen Temperaturmessung mittels Infrarot-Strahlung mit Hilfe einer eigens zusammengesetzten Kalibriersubstanz mit bekanntem Emmissionsgrad.

Das Anwendungsgebiet erstreckt sich auf hochgenaue Infrarot-Meßgeräte mit bildmäßiger Erfassung- (hochauflösende Thermografiegeräte) im IR-Strahlungsbereich von 8-14µm Wellenlänge in den Bereichen

5 Forschung, Industrietechnik, Medizintechnik, Bautechnik und Umwelttechnik.

Es ist bekannt, daß eine exakte Temperaturmessung mit Wärmebildgeräten oder Infrarptkamas- (= Thermografie) bisher nur dann möglich war, wenn der Emmissionsgrad des zu messenden Objektes bekannt war und bei der Messung berücksichtigt wurde.

10 In der bisherigen Thermografie wurden die Werte für die Emmissionsgrade meist aus der Literatur herausgegriffen und damit gemessen. Es kam bei manchen Temperaturmessungen zu erheblichen Differenzen, die wiederum zu Folgefehlern führten.

Bei Überprüfung dieser Werte aus der Literatur mittels eines hochauflösenden Infrarot-Scanners stellte sich heraus, daß manche Werte unkorrekt waren und erhebliche Abweichungen aufwiesen. Weiters gibt es in der Literatur für ein- und denselben Stoff bei konstanter Temperatur differierende Emmissionsgrad-
15 Angaben. Ein Teil dieser Fehlerquellen liegt sicherlich darin, daß diese Literaturangaben mit erheblich älteren und damit ungenaueren Geräten gemessen wurden.

In diesem Zusammenhang ist es bekannt, daß man allgemein die Objekte mit Ruß schwärzte, um einen Em-Grad von $Em = 0,9$ zu erreichen. Die jedoch allgemein übliche Methode des Schwärzens des Objektes mit Ruß ist nach neuesten Forschungen nur mit großen Einschränkungen in den verschiedenen Temperatur-
20 bereichen verwendbar, wobei erhebliche Streuwerte auftreten können ($Em: 0,657$ bis $0,982$) und auch nicht jede Art von Ruß verwendbar ist.

Ähnliche Nachteile haben sich bei schwarzen Lacken und anderen Beschichtungsmaterialien herausgestellt, die überdies nicht temperaturbeständig als auch ungeeignet für biologische Systeme sind- (krebserregend).

25 Weiters ist bekannt die Methode der Anbohrung von Materialien, wodurch ein annähernd Schwarzer Strahler für einen Punkt gebildet werden kann. Diese Methode ist jedoch bei einer größeren Erfassung von Temperaturflächen indiskutabel und hauptsächlich für Pyrometer geeignet (Ausführung in: Konrad Stahl, Gerhard Miosga, Infrarottechnik, Hüthig-Verlag Heidelberg, 1986, 2. Auflage) - Einzelpunktmessung.

Als bisheriger Stand der Technik sei die japanische Patentanmeldung Nr. JP-59-225321 genannt. Diese
30 Anmeldung beschreibt ein Meßverfahren im Bereich von 8µm-12µm, dessen unbedingte Erfordernisse eine Faseroptik, eine vordefinierte Ummantelung zur Bildung einer Art Schwarzen Strahler und eine Emissionssubstanz (metallischer Art mit $Em = 0,90$ oder mit Kohlenstoff $Em = 0,81$) beinhalten. Die Anwendung dieser Emissionssubstanz ist für den Einsatz in einem für sich geschlossenen Körper bestimmt. Dazu ist dieses Meßverfahren der Patentschrift nicht für Messungen an unebenen Flächen vorgesehen, da
35 die Ummantelung nur ebene Flächen vorsieht. Eine Einschränkung ist hier weiter durch den Temperaturbereich gegeben, dessen Em-Werte für genau 100°C definiert sind. Messungen über 100°C sind kaum sinnvoll, da sich hierbei die Em-Werte dieser Stoffe gravierend ändern. Der Einsatz umfaßt hier nur Temperaturmessungen in einem Lokalbereich nicht größer als der Durchmesser der optischen Faser, sodaß Aussagen nur punktuell und nicht flächenhaft - im Gegensatz zur Thermografie - getroffen werden können.

40 Eine weitere Unsicherheit bei diesem Meßverfahren ist durch den unbestimmten Einfluß der Ummantelung des Hohlraumkörpers und der metallischen inneren Beschichtung gegeben, wobei durch Reflexionen und Spiegelungen Abweichungen vom Meßwert entstehen können. Weitere Bedenken bei diesem Verfahren entstehen durch den inneren thermischen Widerstand der Faserfaser und deren eigenem Emmissionsgrad.

Entsprechend liegt der Erfindung als Aufgabe zugrunde, ein berührungsloses Thermografieverfahren zu
45 entwickeln, das eine hochgenaue Messung der Oberflächentemperatur an allen Flächen ohne Einschränkung in enge Temperaturbereiche oder Gebrauch von Schwarzen Strahlern o.ä. gestattet.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß eine neu zusammengesetzte Kalibriersubstanz mit einem Gesamtemmissionsgrad von $Em: 0,929$ im IR-Meßbereich von 8-14µm für den Temperaturbereich von -50°C bis $+200^\circ\text{C}$, bestehend bei je 10 Gewichtsteilen Kalibriersubstanz - aus 1 Gewichtsteil
50 Holzkohlenpulver (Holzkohle vom Pfaffenhütchenstrauch-fein gemahlen) mit $Em: 0,967$, 1 Gewichtsteil K_2SiO_3 (Kaliwasserglas) mit $Em: 0,969$, 1 Gewichtsteil Ölruf (verwendetes Öl: Rapsöl) mit $Em: 0,978$, 5 Gewichtsteilen Glaspulver weiß (fein gemahlen) mit $Em: 0,914$ und 2 Gewichtsteilen Kaolin weiß $\{[\text{Al}(\text{OH})_2]^{1+}\}_2(\text{Si}_2\text{O}_5)^{2-}$ Kaolinit weiß) mit $Em: 0,903$, hergestellt, in genau bekannter Fläche und Stärke auf das zu messende Objekt aufgebracht wird, daß das Thermografiegerät oder IR-Gerät auf diese mit der Kalibrier-
55 substanz versehene Meßfläche fokussiert und einkalibriert wird, und daß jeder Meßwert, auf den in der abschließenden Interpretation der Messung Bezug genommen wird, im Bereich um die Meßfläche gemäß den Werten der Kalibrierfläche korrigiert wird.

Damit ist es erfindungsgemäß möglich, ein berührungsloses Infrarot-Meßverfahren zur genauen Temperaturmessung bei einem Temperaturbereich von -50°C bis $+200^{\circ}\text{C}$ im flächenhaften Bereich auszuführen, wobei die nunmehr bekannte Emissions-Substanz mit konstantem Em-Grad in genau definierten Meßstreifen oder -flächen aufgebracht, die Kalibrierung des IR-Meßgerätes damit durchgeführt und die Messung damit in Bezug gesetzt wird.

Als Vorteile der Erfindung ergeben sich, daß zur Kalibrierung des IR-Meßgerätes bezüglich Referenzmessung keine Hohlkörperbildung für einen Schwarzen Strahler notwendig ist, keine Oxydationsschritte während des Meßvorganges ablaufen und im angegebenen Temperaturbereich ein konstanter Emissionsgrad vorliegt. Dadurch wird erfindungsgemäß eine rasche temperaturgenaue Thermografiemessung im Bereich von -50°C bis $+200^{\circ}\text{C}$ möglich. Komplizierte Umrechnungen und Formelbildungen für verschiedene Stoffe entfallen demnach und werden am Scannermonitor durch sofortige Meßwertbekanntgabe angezeigt.

Weiters wird die Aufgabe dadurch gelöst, daß eine neu zusammengesetzte Kalibriersubstanz mit einem Gesamtemissionsgrad von $\text{Em}:0,927$ im IR-Meßbereich von $8\mu\text{m}$ - $14\mu\text{m}$ für den Temperaturbereich von $+200^{\circ}\text{C}$ bis $+2000^{\circ}\text{C}$, bestehend bei je 10 Gewichtsteilen Kalibriersubstanz -aus 1 Gewichtsteil Holzkohlenpulver(Holzkohle vom Pfaffenhütchenstrauch-fein gemahlen) mit $\text{Em}:0,967$, 1 Gewichtsteil MgO -(Magnesiumoxyd) mit $\text{Em}:0,953$, 1 Gewichtsteil Ölruß(verwendetes Öl: Rapsöl) mit $\text{Em}:0,978$, 5 Gewichtsteilen Glaspulver weiß(fein gemahlen) mit $\text{Em}:0,914$ und 2 Gewichtsteilen Kaolin weiß(Ton aus Karlstetten / Österreich- $\{[\text{Al}(\text{OH})_2]^{1+}\}_2(\text{Si}_2\text{O}_5)^{2-}$ Kaolinit weiß) mit $\text{Em}:0,903$, hergestellt, in genau bekannter Fläche und Stärke auf das zu messende Objekt aufgebracht wird, daß das Thermografiegerät oder IR-Gerät auf diese mit der Kalibriersubstanz versehene Meßfläche fokussiert und einkalibriert wird, und daß jeder Meßwert, auf den in der abschließenden Interpretation der Messung Bezug genommen wird, im Bereich um die Meßfläche gemäß den Werten der Kalibrierfläche korrigiert wird.

Damit ist es erfindungsgemäß möglich, ein berührungsloses Infrarot-Meßverfahren zur genauen Temperaturmessung bei einem Temperaturbereich von $+200^{\circ}\text{C}$ bis $+2000^{\circ}\text{C}$ im flächenhaften Bereich auszuführen, wobei die nunmehr bekannte Emissions-Substanz mit konstantem Em-Grad in genau definierten Meßstreifen oder -flächen aufgebracht, die Kalibrierung des IR-Meßgerätes damit durchgeführt und die Messung damit in Bezug gesetzt wird.

Als Vorteile der zweiten Erfindung ergeben sich, daß zur Kalibrierung des IR-Meßgerätes bezüglich Referenzmessung keine Hohlkörperbildung für einen Schwarzen Strahler notwendig ist, keine Oxydationsschritte während des Meßvorganges ablaufen und im angegebenen Temperaturbereich ein konstanter Emissionsgrad vorliegt. Dadurch wird erfindungsgemäß eine rasche temperaturgenaue Thermografiemessung im Bereich von $+200^{\circ}\text{C}$ bis $+2000^{\circ}\text{C}$ möglich. Komplizierte Umrechnungen und Formelbildungen für verschiedene Stoffe entfallen demnach und werden am Scannermonitor durch sofortige Meßwertbekanntgabe angezeigt.

Vorteilhafterweise wird die jeweilige Kalibriersubstanz auf das Objekt mittels Düse für genau definierten Flächen als Kalibrierstreifen oder mittels Stempeln mit definierten quadratischen Seitenlängen in einer Aufbringungsstärke von maximal $0,5\text{mm}$ aufgebracht.

Diese Kalibriersubstanz, nach deren Zusammensetzung jahrelang geforscht wurde, hat folgende Charakteristika aufzuweisen:

- a)temperaturbeständig in großen Bereichen
- b)für biologische Systeme unbedenklich
- c)elektrischer Isolator
- d)leichte Herstellung
- e)wieder entfernbar
- f)thermisch gut leitend
- g)konstanter Emissionsgrad im Bereich von $8\mu\text{m}$ - $14\mu\text{m}$
- h)Reproduzierbarkeit der Messung durch gleichmäßiges Substanzgemenge
- i)fein verteilbar und aufsprühbar mit Druckluftdüse oder auftragbar mit Kalibrierstempeln

Die Em-Werte für die im Anspruch genannten Zusammensetzungen wurden mittels hochgenauer Scanner im Em-Ermittlungsverfahren festgestellt und über den ganzen angegebenen Temperaturbereich hin überprüft. Diese Em-Werte sind auf $1/1000$ genau bestimmt.

Das Verfahren umfaßt folgende Schritte:

1. Herstellung der Kalibriersubstanz für die Temperaturbereiche -50°C bis $+200^{\circ}\text{C}$ und $+200^{\circ}\text{C}$ bis $+2000^{\circ}\text{C}$.
2. Aufbringung der Kalibriersubstanz mittels Druckluftdüsen oder Stempeln. Als Ausführungsform der Düse wird eine Flachstrahldüse verwendet, deren Ausstrahlbreite mit 2cm begrenzt ist. Als Treibmittel ist Druckluft vorgesehen. Die Ausführungsform der Stempeln ist quadratisch, wobei die Seitenlängen

s=2cm, s=1cm oder s=0,5cm betragen und das Trägermaterial aus nichtleitendem Kunststoff (bei Messungen in Elektroanlagen) besteht. Die Stempelkissen werden mit der Kalibriersubstanz getränkt und diese wird in einer Stärke von maximal 0,5mm auf das Objekt aufgebracht.

3. Berührungslose Temperaturmessung der Infrarot-Strahlung mit Hilfe der CTG--Kalibriersubstanz durch Thermografiescanner oder IR-Meßgeräte.

4. Korrektur, Auswertung und Analyse der Messung unter Berücksichtigung der unter Punkt 1-3 angeführten Verfahrensschritten.

Die Kalibriersubstanzen(Gemenge) werden in der Folge als CTG-Substanzen(Computer-Thermografie-Substanzen) bezeichnet. Der Gesamtemmissionsgrad der CTG-Substanz 1(Gemenge) beträgt $\epsilon_m:0,929$ für den Bereich von -50°C bis $+200^\circ\text{C}$, der Gesamtemmissionsgrad der CTG-Substanz 2(Gemenge) beträgt $\epsilon_m:0,927$ für den Bereich von $+200^\circ\text{C}$ bis $+2000^\circ\text{C}$ (ϵ_m =Emmissionsgrad der jeweiligen Substanz, bezogen auf 15°C Substanztemperatur bei $T_u = 15^\circ\text{C}$ und berührungslose IR-Messung im Wellenlängenbereich von $8\mu\text{m}$ - $14\mu\text{m}$).

Im folgenden wird ein Ausführungsbeispiel der Erfindung beschrieben:

Je nach Anwendungsfall wird die CTG-Substanz 1 (Niedertemperatur -50°C bis $+200^\circ\text{C}$) oder die CTG-Substanz 2 (Hochtemperatur $+200^\circ\text{C}$ bis $+2000^\circ\text{C}$) für das Objekt benötigt.

Die Aufbringung der CTG-Substanz erfolgt a) mit Hilfe von Druckluft und einer speziell geformten Flachstrahldüse, um einen gleichmäßig geformten Kalibrierstreifen mit einer Breite von 2cm zu erreichen. Die Stärke der Aufbringungsschicht beträgt maximal 0,5mm;

b) bei kleinformatischen Bauteilen oder unter elektrischer Spannung stehenden Teilen mit Hilfe von Stempeln, welche eine quadratische Seitenlänge von 2cm, 1cm oder 0,5cm besitzen. Die Stärke der Aufbringungsschicht beträgt max. 0,5mm. Die Stempelformen und Gewindestangen dafür bestehen aus elektrisch-nichtleitendem Kunststoff.

Danach erfolgt die berührungslose Temperaturmessung der Infrarot-Strahlung mit Hilfe der CTG-Kalibriersubstanz: Nach Aufbringung der CTG-Substanz auf den zu messenden Körper wird der Thermografie-Scanner auf den Meßstreifen oder -stempel fokussiert und einkalibriert. Der ϵ_m -Wert der Substanz im Meßstreifen oder -stempel ist genau bekannt und gleichbleibend im jeweiligen Temperaturbereich.

Der sich im Meßpunkt(Cursor) oder in der Meßfläche ergebende Temperaturwert ist der genaue Meßwert. Dann wird die zu messende Fläche gleichen Materials im Bereich neben dem Meßstreifen fokussiert und eine Korrektur des Emmissionsgrades vorgenommen. Die Korrektur der Temperaturwerte erfolgt im Scanner-Auswerte-PC durch ein urheberrechtlich geschütztes EDV-Programm und die korrigierten Werte werden sogleich in das Thermografiebild des Kontrollmonitors eingeblendet. Zusätzlich wird neben der Speicherung der Daten das gesamte Kontrollmonitorbild mit der am Rande des Thermografiebildes erscheinenden Meßskala mit allen notwendigen Meß-und Datenparameter und der ϵ_m -Wertangabe durch einen Farb-Video-Printer ausgedruckt.

Als letztes erfolgt die Auswertung und Analyse der Messung unter Berücksichtigung der vorher angeführten Verfahrensschritten. Bei der Interpretation des Thermografiebildes ist auf den Meßstreifen oder -stempel mit der Kalibriersubstanz Bezug zu nehmen. Bei der Berechnung ist durch die genau definierte Fläche der aufgetragenen CTG-Substanz eine leichte Umrechnung in die Bildpunkte anzahl des Monitors möglich und damit eine Umrechnung auf den wahren Temperaturwert der danebenliegenden Flächen rechnerisch leicht möglich. Diese Aufgabe übernimmt ein urheberrechtlich geschütztes EDV-Programm. Fallweise muß zur besseren bildlichen Darstellung der ϵ_m -Wert mittels des EDV-Programmes rückgerechnet werden(meist bei gespeicherten Bildaufnahmen).

Somit steht mit den CTG-Substanzen und deren Aufbringung ein Kalibriermittel zur Verfügung, das ein Meßverfahren zur genauen Infrarot-Temperaturbestimmung im Bereich von $8\mu\text{m}$ - $14\mu\text{m}$ bei hochauflösenden Thermografiegeräten zuläßt und damit rasche hochgenaue Temperaturmessungen ermöglicht.

Anwendungsgebiete sind hochgenaue Temperaturmessungen mit hochauflösenden Thermografiegeräten in den Bereichen Bautechnik, Umwelt, Medizin und Industrie sowie in der Brandverhütung, Energieplanung und Forschung, die berührungslos erfolgen.

Patentansprüche

1. Thermografieverfahren zur genauen Temperaturmessung mittels Infrarot-Strahlung mit Hilfe einer eigens zusammengesetzten Kalibriersubstanz mit bekanntem Emmissionsgrad, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Kalibriersubstanz mit einem Gesamtemmissionsgrad von $\epsilon_m:0,929$ im IR-Meßbereich von $8\mu\text{m}$ - $14\mu\text{m}$ für den Temperaturbereich von -50°C bis $+200^\circ\text{C}$, bestehend bei je 10 Gewichtsteilen Kalibriersubstanz- aus 1 Gewichtsteil Holzkohlenpulver, 1 Gewichtsteil K_2SiO_3 , 1 Gewichtsteil Rapsölruß, 5 Gewichtsteilen Glaspulver weiß und 2 Gewichtsteilen Kaolin weiß $\{[\text{Al}(\text{OH})_2]^{1+}\}_2(\text{Si}_2\text{O}_5)^{2-}$

AT 401 971 B

hergestellt, in genau bekannter Fläche und Stärke auf das zu messende Objekt aufgebracht wird, daß das Thermografiegerät oder IR-Gerät auf diese mit der Kalibriersubstanz versehene Meßfläche fokussiert und einkalibriert wird, und daß jeder Meßwert, auf den in der abschließenden Interpretation der Messung Bezug genommen wird, im Bereich um die Meßfläche gemäß den Werten der Kalibrierfläche korrigiert wird.

5

2. Thermografieverfahren zur genauen Temperaturmessung mittels Infrarot-Strahlung mit Hilfe einer eigens zusammengesetzten Kalibriersubstanz mit bekanntem Emmissionsgrad, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Kalibriersubstanz mit einem Gesamtemmissionsgrad von $\text{Em}:0,927$ im IR-Meßbereich von $8\text{-}14\mu\text{m}$ für den Temperaturbereich von $+200^\circ\text{C}$ bis $+2000^\circ\text{C}$, bestehend bei je 10 Gewichtsteilen Kalibriersubstanz aus 1 Gewichtsteil Holzkohlenpulver, 1 Gewichtsteil MgO , 1 Gewichtsteil Rapsölruß, 5 Gewichtsteilen Glaspulver weiß und 2 Gewichtsteilen Kaolin weiß $\{[\text{Al}(\text{OH})_2]^{1+}\}_2(\text{Si}_2\text{O}_5)^{2-}$, hergestellt, in genau bekannter Fläche und Stärke auf das zu messende Objekt aufgebracht wird, daß das Thermografiegerät oder IR-Gerät auf diese mit der Kalibriersubstanz versehene Meßfläche fokussiert und einkalibriert wird, und daß jeder Meßwert, auf den in der abschließenden Interpretation der Messung Bezug genommen wird, im Bereich um die Meßfläche gemäß den Werten der Kalibrierfläche korrigiert wird.

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55