



(12) Ausschließungspatent

(11) DD 288 892 A5

Erteilt gemäß § 17 Absatz 1  
Patentgesetz der DDR  
vom 27.10.1983  
in Übereinstimmung mit den entsprechenden  
Festlegungen im Einigungsvertrag

5(51) G 01 N 25/18

DEUTSCHES PATENTAMT

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

(21) DD G 01 II / 334 264 0

(22) 06.11.89

(44) 11.04.91

(71) siehe (73)

(72) Christiani, Egbert, Dipl.-Phys.; Rieger, Paul, Dipl.-Päd., DE

(73) Bauakademie der DDR, Institut für Baustoffe, Geschwister-Scholl-Straße 7a, O - 5300 Weimar, DE

(74) siehe (73)

(54) Verfahren und Vorrichtung zur Messung der Wärmestromdichte von Stoffen unter der Wirkung des Feuchtetransportes

(55) Wärmestromdichte; Feuchtetransport; Faserstoffe; Temperaturgefälle; Wärmeleitfähigkeit; Wasserdampfdiffusionswiderstandsfaktor; Temperierplatte; Prüfkörper; Wärmestrommesser

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Messen der Wärmestromdichte von Stoffen unter Wirkung des Feuchtetransportes, insbesondere von faserigen Stoffen in einem Temperaturgefälle, die als Wärmedämmmaterialien zum Einsatz kommen. Unter Verwendung eines plattenförmigen Prüfkörpers zwischen zwei Temperierplatten mit einem Temperaturgradienten sollen mit einem neuartigen Verfahren und einer Vorrichtung die Wärmestromdichte von Stoffen unter der Wirkung des Feuchtetransportes gemessen und daraus die Wärmeleitfähigkeit und der Wasserdampfdiffusionswiderstandsfaktor ermittelt werden. Erfindungsgemäß wird soviel Feuchtigkeit gleichmäßig über die Oberfläche einer wärmeren Prüfkörperseite verteilt, bis dort eine gesättigte Atmosphäre vorherrscht und während des Feuchtigkeitsdurchganges durch den Prüfkörper im Temperaturgradienten bekannterweise im stationären Zustand der Wärme- und Feuchtigkeitsleitung die Wärmestromdichte und die diffundierte Feuchtigkeitsmenge meßtechnisch erfaßt werden. Zur Durchführung des Verfahrens dient ein Prüfkörper, der zwischen Temperierplatten diffusionsdicht angeordnet ist, wobei zwischen den Prüfkörperoberflächen und den Temperierplatten je eine dünne saugfähige Schicht mit oder ohne einer unmittelbar der Prüfkörperoberfläche anliegenden diffusionsdurchlässigen Schicht angelagert ist, wobei die saugfähige Schicht, der wärmeren Temperierplatte anliegend, mit einer Wassermenge angereichert ist, die größer als die hygroskopische Gleichgewichtsfeuchte der saugfähigen Schicht ist.

## Patentansprüche:

1. Verfahren zur Messung der Wärmestromdichte von Stoffen unter der Wirkung des Feuchtetransportes mittels eines plattenförmigen Prüfkörpers zwischen zwei Temperierplatten mit einem Temperaturgradienten, **dadurch gekennzeichnet**, daß soviel Feuchtigkeit gleichmäßig über die Oberfläche einer wärmeren Prüfkörperseite verteilt wird, bis dort eine gesättigte Atmosphäre vorherrscht und während des Feuchtigkeitsdurchganges durch den Prüfkörper im Temperaturgradienten bekannterweise im stationären Zustand der Wärme- und Feuchtigkeitsleitung die Wärmestromdichte und die diffundierte Feuchtigkeitsmenge meßtechnisch erfaßt werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß mit Wiederholung der Verfahrensdurchführung sich ein Zustand gesättigter Atmosphäre an den Prüfkörperoberflächen und dem im Temperaturgradienten liegenden Prüfkörper einstellt und bei konstanter Wärme- und Feuchtigkeitsleitung die Wärmestromdichte gemessen wird.
3. Vorrichtung zur Messung der Wärmestromdichte von Stoffen unter Wirkung des Feuchtetransportes mit der Verwendung von zwei Temperierplatten, zwischen denen diffusionsdicht ein plattenförmiger Prüfkörper aufgenommen wird, an den Temperierplatten je ein Temperatur- und Wärmestrommesser angeordnet ist, **dadurch gekennzeichnet**, daß zwischen den diffusionsdicht abgeschlossenen Prüfkörperoberflächen und den Temperierplatten (5, 6) je eine dünne saugfähige Schicht (3) mit oder ohne einer unmittelbar der Prüfkörperoberfläche anliegenden diffusionsdurchlässigen Schicht (2) eingelagert ist, wobei die saugfähige Schicht (3), die der wärmeren Temperierplatte anliegt, mit einer Wassermenge angereichert ist, die größer als die hygroskopische Gleichgewichtsfeuchte der saugfähigen Schicht (3) ist.
4. Vorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß Filterpapier die saugfähigen Schichten (3) bilden.

Hierzu 1 Seite Zeichnung

## Arwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Messung der Wärmestromdichte von Stoffen unter Wirkung des Feuchtetransportes, insbesondere von faserigen Stoffen in einem Temperaturgefälle, die als Wärmedämmmaterialien zum Einsatz kommen.

## Charakteristik des bekannten Standes der Technik

Die Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit von feuchten Stoffen mittels stationärer Meßmethoden basiert auf der Messung der Wärmestromdichte. Im DD-WP 210988 wird ein stationäres Meßverfahren an plattenförmigen, diffusionsdicht abgeschlossenen Prüfkörpern, die horizontal in einem Temperaturgefälle liegen, aufgezeigt. Bei einer schrittweisen Änderung der Temperaturdifferenz kommt es zur Verlagerung der Feuchtigkeit unter zusätzlicher Einwirkung des Schwerfeldes der Erde. Dabei wird der Zustand konstanter Feuchtigkeitsdichte mit einem Minimum des Dämmwertes des Probekörpers angestrebt und das Maximum der Wärmestromdichte gemessen, aus dem die Wärmeleitfähigkeit ermittelt wird. Die Verfahrensdurchführung ist aufwendig, vor allem im hygroskopischen Feuchtebereich. An faserigen Dämmstoffen, die einen hohen Anteil der Diffusion am Feuchtetransport besitzen, ist dieses Verfahren nicht geeignet.

Ein Kurzzeitverfahren gemäß DD-WP 236999 für hygroskopisch feuchte Stoffe erfaßt die maximale Wärmestromdichte im Prüfkörper mit aufgeprägtem Temperaturgradienten. Im stationären Zustand der Wärme- und Feuchtigkeitsleistung ist dabei die Feuchtigkeitsdichte konstant. In faserigen Dämmstoffen mit starker Wasserdampfdiffusion wird dieser Zustand konstanter Feuchtigkeitsdichte jedoch nicht erreicht, da im Temperaturgefälle das Wasser an der kälteren Prüfkörperoberfläche kondensiert. Die Bestimmung des Wasserdampfdiffusionswiderstandsfaktors von Stoffen ist an keines der genannten Verfahren oder Vorrichtungen gekoppelt. Er wird nach bekannten Verfahren gemäß DIN 52615 basierend auf einer Anordnung im isothermen Zustand und im konstanten Wasserdampfpartialdruckgefälle bestimmt. In der praktischen Anwendung bei faserigen Dämmstoffen sind diese jedoch der Wasserdampfdiffusion im Temperaturgradienten ausgesetzt und die o. g. Messungen ergeben dafür keine exakten Werte.

## Ziel der Erfindung

Mit der Erfindung soll ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Anwendung kommen, mittels derer ohne großen meßtechnischen Aufwand und in kurzer Zeit die Wärmestromdichte von Stoffen unter der Wirkung des Feuchtetransportes, insbesondere von faserigen Baumaterialien gemessen und daraus ableitend ihre möglich praktische Verwendung oder ihr Verhalten in feuchter Atmosphäre bestimmt werden kann.

## Darlegung des Wesens der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, mit einem neuartigen Verfahren und einer Vorrichtung die Wärmestromdichte von Stoffen unter der Wirkung des Feuchtetransportes zu messen und daraus die Wärmeleitfähigkeit und den Wasserdampfdiffusionswiderstandsfaktor zu ermitteln.

Erfindungsgemäß unter Verwendung eines plattenförmigen Prüfkörpers zwischen zwei Temperierplatten mit einem Temperaturgradienten wird die Aufgabe erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß eine bestimmte Feuchtigkeitsmenge gleichmäßig über die Oberfläche einer wärmeren Prüfkörperseite verteilt wird und während des Feuchtigkeitsdurchganges durch den Prüfkörper im Temperaturgradienten bekannterweise im stationären Zustand der Wärme- und Feuchtigkeitsleitung die Wärmestromdichte und die diffundierte Feuchtigkeitsmenge meßtechnisch erfaßt werden. Aus der Wärmestromdichte wird die Wärmeleitfähigkeit  $\lambda_f$  für den Prüfkörper im Zustand konstanter Wärmestromdichte ermittelt, der sich mit Wiederholung des Verfahrens dann einstellt, wenn die Feuchtigkeitsmengen an den Prüfkörperoberflächen und in dem im Temperaturgradienten liegenden Prüfkörper eine gesättigte Atmosphäre erzeugen

$$\lambda_f = \frac{s \cdot \dot{q}_{Pr,f}}{\Delta T} \quad (1)$$

|                  |                                                              |
|------------------|--------------------------------------------------------------|
| $\lambda_f$      | Wärmeleitfähigkeit mit Feuchtetransport                      |
| $s$              | Dicke des Prüfkörpers                                        |
| $\dot{q}_{Pr,f}$ | Wärmestromdichte bei stationärem Wärme- und Feuchtetransport |
| $\Delta T$       | Temperaturgradient über dem Prüfkörper                       |

Aus der Differenz der gemessenen Wärmestromdichten am Prüfkörper mit Feuchtetransport und im trockenen Zustand im Verhältnis zur äquivalenten Wärmestromdichte bei der Verdampfung und Diffusion von Wasser durch eine Luftschicht, die der Dicke des Prüfkörpers entspricht, ergibt sich für den Wasserdampfdiffusionskoeffizienten  $\mu$

$$\dot{q}_{Pr,D} = \dot{q}_{Pr,f} - \dot{q}_{Pr,t} \quad (2)$$

$$\dot{q}_{L,D} = g_L \cdot r_v \quad (3)$$

$$\mu = \frac{\dot{q}_{L,D}}{\dot{q}_{Pr,D}} \quad (4)$$

|                  |                                                                                                  |
|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\dot{q}_{Pr,t}$ | – Wärmestromdichte am trockenen Probekörper im stationären Zustand                               |
| $\dot{q}_{Pr,D}$ | – Wärmestromdichte infolge Wasserdampfdiffusion am Prüfkörper                                    |
| $\dot{q}_{L,D}$  | – Wärmestromdichte durch die Wasserdampfdiffusion an der äquivalenten Luftschicht                |
| $r_v$            | – Verdampfungswärme von Wasser                                                                   |
| $g_L$            | – Dampfstromdichte durch Luftschicht mit Probekörperdicke, berechnet nach dem Stefanschen Gesetz |
| $\mu$            | – Wasserdampfdiffusionskoeffizient                                                               |

Es ergeben sich mit dieser Verfahrensweise die gleichen Bedingungen für die Feuchtigkeits- und Wärmetransportvorgänge. Unter Verwendung von zwei Temperierplatten, zwischen denen diffusionsdicht ein plattenförmiger Prüfkörper aufgenommen und an den Temperierplatten je ein Temperatur- und Wärmestrommesser angeordnet ist, besteht die Vorrichtung zur Messung der Wärmestromdichte von den Stoffen unter Wirkung des Wärmetransportes erfindungsgemäß aus saugfähigen Schichten, die den Oberflächen der Prüfkörper zu den Temperierplatten anliegen und mit in die Diffusionsschicht eingeschlossen sind, wobei die der wärmeren Temperierplatte anliegende saugfähige Schicht mit einer Wassermenge angereichert ist, die größer als die hygroskopische Gleichgewichtsfeuchte der saugfähigen Schicht ist. Als saugfähige Schicht kommt vorwiegend Filterpapier zum Einsatz.

Die Erfindung ermöglicht erstmals neben der Wärmeleitfähigkeit auch den Wasserdampfdiffusionskoeffizienten unter einheitlichen Meßbedingungen für faserige Stoffe, die vorwiegend zur Wärmedämmung verwendet werden, ermitteln zu können. Es ist damit möglich, beide Materialgrößen in einem Meßvorgang und in Abhängigkeit von der Prüfkörpermitteltemperatur zu untersuchen. Damit ist ein wesentlich geringerer Zeitaufwand zur Bestimmung des Wasserdampfdiffusionskoeffizienten notwendig. Mit der Untersuchung des Wasserdampftransportes in einem Verfahren mit Temperaturgradient und veränderlicher Mitteltemperatur des Prüfkörpers können die Meßbedingungen verschiedenen Einsatzbedingungen der faserigen Stoffe zur Wärmedämmung angepaßt werden. Die Wärmeleitfähigkeit wird dabei unter den durch die Oberflächentemperaturen am Probekörper bestimmten und damit verbundenen Wasserdampfsättigungsdrücken ermittelt. Mit diesen Ergebnissen für den Wasserdampfdiffusionskoeffizienten und der Veränderung des Wärmetransportes unter definierten Feuchtebedingungen am Probekörper kann der Wärme- und Feuchtetransport in Mehrschichtensystemen berechnet werden. Die Feuchtezuschläge der Wärmeleitfähigkeit lassen sich dann in Abhängigkeit von den Temperaturen und den Wasserdampfpartialdruckdifferenzen am faserigen Wärmedämmstoff berechnen.

## Ausführungsbeispiel

In einer experimentellen Anordnung zur Messung der Wärmeleitfähigkeit nach DIN 52616 mittels Einplattenverfahren (Figur 1) wird der zu untersuchende plattenförmige Prüfkörper 1 einem Temperaturgradienten ausgesetzt, der sich zwischen der Heizplatte 5 und der Kühlplatte 6 ausbildet. An Grund- und Deckfläche des Prüfkörpers 1 anliegend befindet sich ein Glasgittergewebe 2 als durchlässige Schicht. Daran schließt sich Filterpapier 3 als saugfähige Schicht an. Zwischen Filterpapier 3

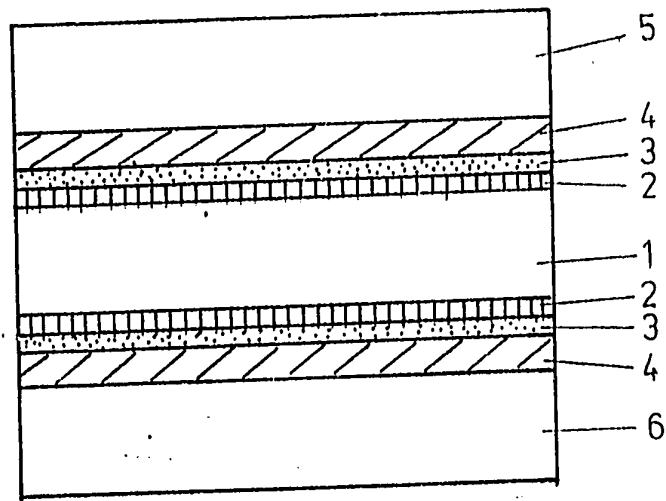
und den Temperierplatten 5 bzw. 6 befinden sich Wärmestromdichtemeßplatten 4. Die Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit  $\lambda_l$  erfolgt bei der Mitteltemperatur  $T_m$  am trockenen Prüfkörper über die Messung der Wärmeströme  $\dot{q}_{Pr, 11, 2}$ , der Temperaturdifferenz  $\Delta T$  sowie der Prüfkörperdicke  $d$  nach der üblichen Vorgehensweise. Für die Messung der Wärmeleitfähigkeit des Prüfkörpers während des Wasserdampftransportes wird das auf der wärmeren Oberfläche liegende Filterpapier so befeuchtet, daß eine gesättigte Atmosphäre an den Prüfkörperoberflächen und im Prüfkörper entsteht, und die Anordnung nach Bild 1 mit Ausnahme der Temperierplatten diffusionsdicht verpackt. In der dargestellten Anordnung verdampft das Wasser aus dem Filterpapier der wärmeren Oberfläche, wandert als Dampf aufgrund des Partialdruckgefälles durch den Prüfkörper und kondensiert im Filterpapier der kälteren Prüfkörperoberfläche. Während des Wasserdampftransportes werden nach einer kurzen Eintemperierphase zur Einstellung eines stationären Zustandes die Wärmeströme  $\dot{q}_{Pr, 11, 2}$  registriert. Daraus erfolgt die Berechnung der Wärmeleitfähigkeit  $\lambda_l$  des Prüfkörpers unter den Bedingungen des Wasserdampftransportes für die sich aufgrund der unterschiedlichen Oberflächentemperaturen einstellende Partialdruckdifferenz  $\Delta p$  bezogen auf die Mitteltemperatur  $T_m$  des Prüfkörpers.

Für die Bestimmung des Wasserdampfdiffusionswiderstandsfaktors muß zunächst mit Gleichung (3) aus der Partialdruckdifferenz  $\Delta p$ , der Mitteltemperatur des Prüfkörpers  $T_m$  und der spezifischen Verdampfungswärme  $r_v$ , die Wärmestromdichte  $\dot{q}_{L, D}$  für eine Anordnung mit Luft entsprechend der Prüfkörperdicke bestimmt werden.

Durch Differenzbildung der gemessenen Wärmestromdichten  $\dot{q}_{Pr, 11, 2}$  am dampfdurchströmten und  $\dot{q}_{Pr, 11, 2}$  am trockenen Prüfkörper ergibt sich nach Gleichung (2) die aus dem Dampftransport resultierende Wärmestromdichte  $\dot{q}_{Pr, D}$ .

Aus  $\dot{q}_{L, D}$  und  $\dot{q}_{Pr, D}$  folgt durch Quotientenbildung nach Gleichung (4) der Wert des Wasserdampfdiffusionswiderstandsfaktors  $\mu$ . Nachstehende Tabelle enthält die an einer 38 mm dicken Mineralwolleplatte P 11/100 bestimmten Werte.

| $T_m$ | $\Delta T$         | $\dot{q}_{Pr, 11}$ | $\dot{q}_{Pr, 12}$ | $\lambda_l$        | $\Delta p$ | $\dot{q}_{Pr, 11}$ | $\dot{q}_{Pr, 12}$ | $\lambda_l$ |
|-------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|------------|--------------------|--------------------|-------------|
| 10°C  | 5,01               | 5,29               | 5,20               | 0,037              | 4,34       | 10,13              | 9,98               | 0,077       |
| °C    | K                  | W/m <sup>2</sup>   | W/m <sup>2</sup>   | W/mK               | mbar       | W/m <sup>2</sup>   | W/m <sup>2</sup>   | W/mK        |
|       | $g$                | $r_v$              | $q_{L, D}$         | $\dot{q}_{Pr, D1}$ |            | $\dot{q}_{Pr, D2}$ | $\mu$              |             |
|       | 0,0048             | 590,2              | 5,38               | 4,84               |            | 4,78               | 1,1                |             |
|       | kg/hm <sup>2</sup> | kcal/kg            | W/m <sup>2</sup>   | W/m <sup>2</sup>   |            | W/m <sup>2</sup>   |                    |             |



Figur 1