(19) BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

(12) **PATENTSCHRIFT**

(11) **DD 266 172 B5**

Patent beschränkt aufrechterhalten nach § 12 Abs. 3 ErstrG

(51) Int. Cl.[5]: G01N 25/18

DEUTSCHES PATENTAMT

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Aufrechterhaltung kann Einspruch eingelegt werden

(21) Aktenzeichen:	(22) Anmeldetag:	(44) Veröff.-tag der DD-Patentschrift:	(45) Veröff.-tag der Aufrechterhaltung:
DD G01N / 307 187 6	24.09.87	22.03.89	20.01.94

(30) Unionspriorität:
–

(72) Erfinder: Wolf, Günther, Dipl.-Ing., 01259 Dresden, DE; Großmann, Karin, Dr.-Ing., 01259 Dresden, DE
(73) Patentinhaber: Technische Universität Dresden, Mommsenstr. 13, 01069 Dresden, DE

(54) Verfahren zur Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit des Einzelpartikels einer Schüttung

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht gezogene Druckschriften:
DD 114 145 DD 237 548
„Wiss. Zeitschr. der TU Dresden", 33 (1984) 2, S. 41 ff.
„Chemie-Ing.-Technik", 40 (1968) 23 S. 1176–1180
„Int. J. Heat Mass Transfer", Jhg. 1, S. 50–54, Pergamon Press 1960

ISSN 0433-6461

5 Seiten

Patentansprüche:

1. Verfahren zur Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit des Einzelpartikels einer Schüttung durch Messung der elektrischen Heizleistung und des zeitlichen Temperaturverlaufs einer von innen beheizten und in den Prüfstoff eingebetteten Sonde während einer zeitlich begrenzten Heiz- und Abkühlphase (ausgeschaltete Heizung), Errechnung der wirksamen Differenz der längenbezogenen Speicherkapazität zwischen der Sonde und dem Prüfstoff und danach der Wärmeleitfähigkeit, **gekennzeichnet dadurch,** daß die Wärmeleitfähigkeit des mit einem ersten Füllstoff und des mit einem zweiten Füllstoff verfüllten Schüttgutes sowie der Füllstoffe selbst bestimmt und aus diesen Werten auf der Basis der Analogiebeziehungen zur Reihen- und/oder Parallelschaltung elektrischer Widerstände und unter Beachtung der Anwendung dieser Analogiebeziehung auf die Schüttung in Abhängigkeit vom Füllstoffanteil r_F die Wärmeleitfähigkeit des Einzelpartikels des Schüttgutes ermittelt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **gekennzeichnet dadurch,** daß die Messungen gleichzeitig in mehreren mit dem Schüttgut und/oder den Füllstoffen gefüllten Behältern durchgeführt werden.
3. Verfahren nach Anspruch 1, **gekennzeichnet dadurch,** daß die Messungen in zylindrischen Behältern gleicher Abmessungen durchgeführt werden.
4. Verfahren nach Anspruch 1, **gekennzeichnet dadurch,** daß als erster Füllstoff Luft und als zweiter Füllstoff ein Füllstoff mit bekannter Wärmeleitfähigkeit (Etalon) verwendet werden.

Hierzu 2 Seiten Zeichnungen

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit des Einzelpartikels einer Schüttung, wie sie beispielsweise bei Trocknungs- und Regenerationsvorgängen (für Auslegungsrechnungen, Optimierung des Energieeinsatzes, Einhaltung von Grenztemperaturen für empfindliche Güter usw.) benötigt wird. Bei derartigen technischen Vorgängen ist nicht nur die effektive Wärmeleitfähigkeit der Schüttung, sondern auch die Wärmeleitfähigkeit des Einzelpartikels der Schüttung gefragt.

Es sind verschiedene Lösungen zur Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit von Schüttgütern bekannt (DD 135767, DE 3108311). Die Sonden enthalten eine Wärmequelle und ein oder mehrere Temperaturmeßstellen (meist Thermoelemente). Die Heizleistung und die Temperatur werden mit elektrischen Meßgeräten aufgenommen, wobei systematische Fehler nicht ausgeschlossen werden können. Aus dem zeitlichen Temperaturverlauf ist die Wärmeleitfähigkeit des Prüfstoffes (der Schüttung) zu ermitteln. Mit dieser Meßanordnung ist es jedoch nicht möglich, von der Wärmeleitfähigkeit der Schüttung auf die Wärmeleitfähigkeit des Einzelpartikels der Schüttung zu schließen bzw. Messungen der Wärmeleitfähigkeit, Wärmekapazität und Feuchte unter Ausschluß verfahrensbedingter systematischer Fehler durchzuführen.

In der Arbeit von Kerber, R. und Siems, W. „Wärmeleitung in Zwei-Phasen-Systemen fest/flüssig" (Chemie-Ing.-Technik 40.Jahrg. 1968, Heft 23) wird die Wärmeleitung in Suspensionen untersucht und gute Übereinstimmung zwischen Modell und Experiment erzielt, sofern die Einzelpartikel sehr klein sind. Auch DD 114145 geht von Suspensionen aus. Die gefundenen Ergebnisse sind auf die Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit der Einzelpartikel einer Schüttung nicht übertragbar. Die Einzelpartikel einer Schüttung berühren sich mehrfach untereinander. An den Berührungsstellen werden „Wärmebrücken" wirksam, über die verstärkt und in unterschiedlicher Menge und Richtung Energie transportiert wird.

Aufgabe der Erfindung ist es, mit bereits bekannten Sonden zur Messung der Wärmeleitfähigkeit (DD 237548 und 237550) die Wärmeleitfähigkeit des Einzelpartikels einer Schüttung zu ermitteln.

Erfindungsgemäß wird die Aufgabe dadurch gelöst, daß die Wärmeleitfähigkeit des mit einem ersten Füllstoff und des mit einem zweiten Füllstoff verfüllten Schüttgutes sowie der Füllstoffe selbst bestimmt und aus diesen Werten auf der Basis der Analogiebeziehungen zur Reihen- und/oder Parallelschaltung elektrischer Widerstände und unter Beachtung der Abhängigkeit dieser Analogiebeziehung auf die Schüttung vom Füllstoffanteil r_F die Wärmeleitfähigkeit des Einzelpartikels des Schüttgutes ermittelt wird.

Mit

λ_{F1}: Wärmeleitfähigkeit des Füllstoffs 1,
λ_{KF1}: Wärmeleitfähigkeit der mit Füllstoff 1 verfüllten Schüttung,
λ_{F2}: Wärmeleitfähigkeit des Füllstoffs 2,
λ_{KF2}: Wärmeleitfähigkeit der mit Füllstoff 2 verfüllten Schüttung

ist die Wärmeleitfähigkeit des Einzelpartikels zu bestimmen über

$$\lambda_{K,R} = \frac{\lambda_{F1} \cdot \lambda_{KF2} - \lambda_{F2} \cdot \lambda_{KF1}}{\lambda_{F1} - \lambda_{KF1} - \lambda_{F2} + \lambda_{KF2}},$$

wenn das Prüfgut als eine Anordnung von Reihenwiderständen Füllstoff–Feststoff bzw. über

$$\lambda_{K,P} = \frac{\frac{1}{\lambda_{F1}} - \frac{1}{\lambda_{KF1}} - \left(\frac{1}{\lambda_{F2}} - \frac{1}{\lambda_{KF2}}\right)}{\frac{1}{\lambda_{F1} \cdot \lambda_{KF2}} - \frac{1}{\lambda_{F2} \cdot \lambda_{KF1}}},$$

wenn das Prüfgut als eine Anordnung von Parallelwiderständen Füllstoff–Feststoff betrachtet werden darf. Es hat sich gezeigt, daß besonders bei großen Wärmeleitfähigkeitsdifferenzen zwischen Füllstoff und Feststoff eine Kombination beider Anordnungen angeraten ist, wobei die jeweiligen Anteile über den Füllstoffraumanteil r_F der jeweiligen Schüttung, der z.B. experimentell ermittelt wird, festgelegt werden können.
Zur Messung werden vier Behälter gleicher Abmessungen wie folgt gefüllt: Im ersten Behälter befindet sich das Schüttgut, wobei die durch die Geometrie der Einzelpartikel bedingten Zwischenräume mit dem Raumanteil r_{F1} durch einen Füllstoff 1 (z.B. Luft) gefüllt sind. Beim zweiten Behälter werden diese Zwischenräume $r_{F2} = r_{F1}$ der Schüttung mit einem Füllstoff 2 (z.B. Paraffin) vergossen. Der dritte bzw. vierte Behälter enthält die jeweils zum Verfüllen der Hohlräume im ersten und zweiten Behälter genutzten Füllstoffe 1 bzw. 2. Wird als ein Füllstoff Luft eingesetzt und werden zur Kennzeichnung deren Wärmeleitfähigkeit tabellierte Werte verwendet, so reduziert sich der Umfang der Meßanordnung auf drei Behälter.
In jedem der Behälter ist eine Wärmeleitfähigkeitsmeßsonde entsprechend DD 237548 mit gemeinsamer Stromversorgung für die Heizdrähte angeordnet. Damit ermöglicht die vorliegende technische Lösung eine quasi zeitgleiche Meßwerterfassung $\bar{t}(\ln\tau)$ bei absolut gleichen Randbedingungen. Die Abtastzeit für alle Meßsonden ist im Gegensatz zur Zykluszeit zwischen zwei Meßwertabtastungen sehr kurz. Die Zykluszeit ist am Stoffdatenmeßgerät einstellbar.
Des weiteren ist es mit dem Verfahren möglich, ein Prüfgut unmittelbar mit einem Etalon zu vergleichen. Dazu werden zwei Behälter mit einer Meßsonde benötigt, wobei sich in einem Behälter das Prüfgut und in dem anderen das Etalon befinden. Die Messung erfolgt wieder für beide Stoffe unter absolut gleichen Meßbedingungen.
Das Stoffdatenmeßgerät erlaubt, die Kennlinien für die Aufheiz- und Abkühlphase zu erfassen und die Berechnung sowohl der Wärmeleitfähigkeit der einzelnen Proben und des Einzelpartikels, als auch der Wärmekapazität und Feuchte der Schüttungen automatisch auszuführen.
Die Erfindung wird nachfolgend an einem Ausführungsbeispiel näher dargestellt. In den Zeichnungen zeigen

Fig. 1: eine Meßanordnung für die Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit des Einzelpartikels einer Schüttung als Beispiel einer Dreisondenmessung
Fig. 2: eine Meßanordnung für eine parallele Etalonmessung
Fig. 3: das Zeitdiagramm der Meßsondenabtastung.

Zur Durchführung des Verfahrens wird eine gerätetechnische Anordnung verwendet, bestehend aus einem Stoffdatenmeßgerät SDMG mit einer Einchip-Mikrorechner-Steuerung, drei Behältern, in denen sich die Proben befinden und drei Meßsonden mit den gleichen Kennwerten. Die drei Behälter haben die gleichen Abmessungen. Im ersten Behälter befindet sich das Originalschüttgut. Die durch die Geometrie des Einzelpartikels bedingten Zwischenräume sind mit Luft gefüllt. Im zweiten Behälter ist ebenfalls das Originalschüttgut eingebracht, aber die Zwischenräume sind mit einem Füllstoff vergossen. Der dritte Behälter enthält den Füllstoff, mit dem die Zwischenräume im zweiten Behälter vergossen wurden. In das Zentrum der Behälter wird jeweils eine Meßsonde eingebracht, die von Wand und Boden des Behälters einen ausreichenden großen Abstand haben soll. Diese Anordnung ist in Fig. 1 veranschaulicht. Fig. 2 zeigt die Meßanordnung für den Vergleich eines Prüfstoffs mit einem Etalon. Die Kennwerte der Meßsonden und die Bedingungen für den instationären Sondenmeßprozeß, wie z.B. Heizstrom, Zykluszeit τ_Z, getrennt für die Aufheiz- und Abkühlphase, u.a. werden in das Stoffdatenmeßgerät SDMG im Dialog eingegeben. Nach einer Temperaturausgleichsphase wird die Messung gestartet und werden die Kennlinien für die drei Proben aufgenommen. Die Abtastung der drei Meßsonden M_{S1}...M_{S3} erfolgt quasi zeitgleich, d.h. mit einer vernachlässigbaren Zeitdifferenz zwischen der Erfassung der drei Meßwerte. Die Abtastzeit τ_A, sie schließt den Zugriff auf die drei Meßsonden ein, ist wesentlich kürzer als die Zykluszeit τ_Z, so daß bereits in den Meßzyklen Berechnungen, die für den Meßprozeß notwendig sind, in Echtzeit ausgeführt werden können, vgl. Fig. 3.
Anschließend an den Meßvorgang erfolgt automatisch die Berechnung der Wärmeleitfähigkeit des Einzelpartikels bezogen auf die Abweichungen zum parallel vermessenen Etalon.

266172

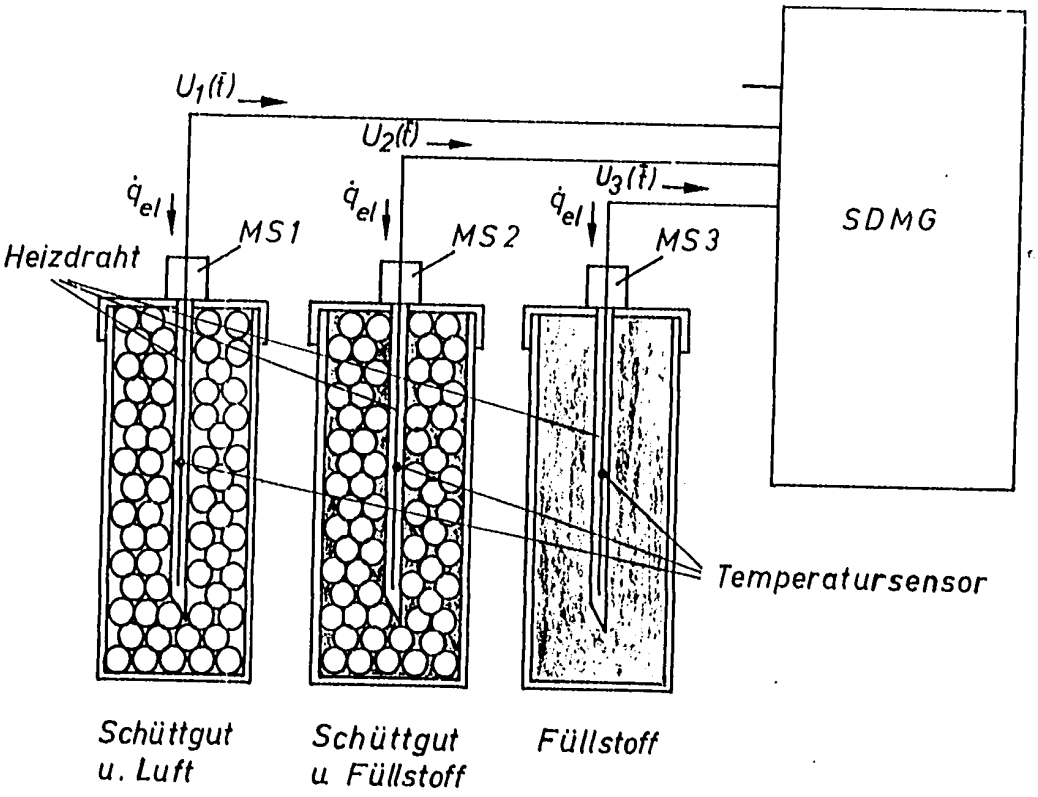


Fig. 1

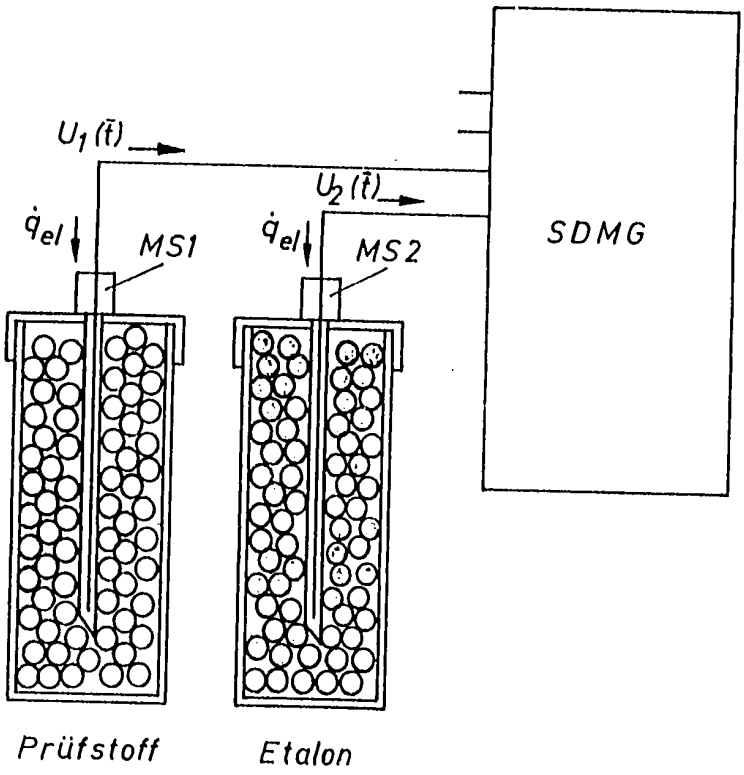


Fig. 2

Z 881 - 462663

266 172

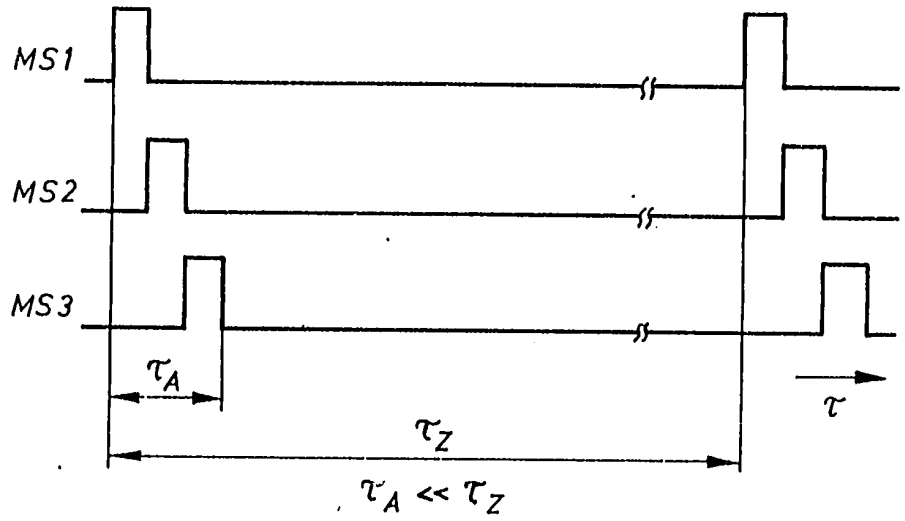


Fig. 3

INSPEC

INSPEC - 462663