



DEUTSCHE DEMOKRATISCHE REPUBLIK



(12) Wirtschaftspatent

Erteilt gemäß § 17 Absatz 1 Patentgesetz

PATENTCHRIFT

(19) **DD** (11) **269 013 A1**

4(51) G 01 N 23/201
G 01 N 33/22

AMT FÜR ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

(21)	WP G 01 N / 287 230 2	(22)	21.02.86	(44)	14.06.89
(71)	Akademie der Wissenschaften der DDR, Otto-Nuschke-Straße 22/23, Berlin, 1080, DD				
(72)	Thümmel, Hans-Wolf, Dr. sc. Dipl.-Phys.; Binder, Ralf, Dipl.-Phys.; Braune, Manfred; Frenzel, Manfred, Dipl.-Phys.; Göldner, Roland, Dr.-Phys.; Klepel, Stefan, Dipl.-Phys.; Leonhardt, Jürgen, Prof. Dr. sc. nat. Dipl.-Phys.; Stuchlik, Werner, Dipl.-Phys.; Körner, Günther, Dipl.-Phys., DD				
(54)	Verfahren zur dicken- und eisenkompensierten Aschegehaltsbestimmung von Kohle				

(57) Das Ziel der Erfindung, die Erhöhung der Genauigkeit bei der radiometrischen Bestimmung des Aschegehaltes von Kohle auf Transportbändern, wird erreicht, indem das dickenkompensierte Meßsignal für den Aschegehalt und das Meßsignal für die Schichtdicke bekannter radiometrischer Verfahren mit einem Signal verknüpft wird, das einen hohen Anteil an elastisch gestreuter Quantenstrahlung enthält.

ISSN 0433-6461

5 Seiten

Erfindungsanspruch:

1. Verfahren zur dicken- und eisenkompensierten Bestimmung des Aschegehaltes von Kohle, bestehend in der Gewinnung eines dickenkompensierten Meßsignals für den Aschegehalt sowie eines Meßsignals für die Dicke oder Flächenmasse der Kohlschicht nach einem bekannten Verfahren auf der Grundlage der Transmission, Vorwärtsstreuung oder Rückwärtsstreuung von Röntgen- oder niederenergetischer Gammastrahlung und eines Signals zur Korrektur von Eisengehaltsschwankungen, **dadurch gekennzeichnet**, daß als Korrektursignal die Intensität elastisch gestreuter Quantenstrahlung dient, wobei vorzugsweise dieselbe Primärenergie eingesetzt wird.
2. Verfahren nach Punkt 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß bei Einsatz von Quantenstrahlung aus dem Energiegebiet von 40 bis 100 keV die Intensität der in einer rotationssymmetrischen Vorwärtsstreuengeometrie und einem Ablenkwinkel zwischen etwa 10° und 80° elastisch gestreuten Quantenstrahlung gemessen wird.
3. Verfahren nach Punkt 1 und 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß die bei einem Ablenkwinkel im Bereich von 40° bis 70° auftretende Streustrahlung elektronisch in die Intensität der mit der Primärenergie elastisch gestreuten Strahlung und in die Intensität der durch Comptonstreuung energieverminderten Strahlung getrennt und der aus beiden Intensitäten gebildete, näherungsweise schichtdickenunabhängige Quotient als Korrektursignal dient.
4. Verfahren nach Punkt 1 und 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Intensität der bei Ablenkwinkeln unterhalb 30° auftretenden Streustrahlung gemessen, mit dem Schichtdickenwert korrigiert und dann als Korrektursignal bereitgestellt wird.
5. Verfahren nach Punkt 1 und 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Ermittlung des auf eisen- und dickenkompensierten Aschegehaltes c_A nach der Formel $c_A = a + bA + cQ_s$ erfolgt, wobei A das Meßergebnis eines bekannten dickenkompensierten Aschegehaltsmeßverfahrens, Q_s der Quotient der Intensitäten der elastisch und comptongestreuten Strahlung a, b und c durch Messung an Proben bekannter Dicke und Zusammensetzung zu bestimmende Konstanten sind.
6. Verfahren nach Punkt 1 und 4, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Ermittlung des auf Eisengehalts- und Dickschwankungen korrigierten Aschegehaltes c_A nach der Formel $c_A = a + bA + cI_s$ erfolgt, wobei A das Meßergebnis eines dickenkompensierten Aschegehaltsmeßverfahrens, I_s die auf Schichtdicke korrigierte Intensität der in einem Streuwinkel unterhalb 30° auftretenden Streustrahlung und a, b und c durch Messung an Proben bekannter Dicke und Zusammensetzung zu bestimmende Konstanten sind.

Hierzu 1 Seite Zeichnung

Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bestimmung des Gehaltes von zwei Komponenten in einem Dreistoffsystem mit schwankender Schichtdicke mittels Gammastrahlungsabsorption und -streuung. Das Verfahren eignet sich besonders zur Bestimmung des Aschegehaltes von Kohle, die auf Transportbändern gefördert wird und bei der die Zusammensetzung des Mineralstoffes (der Asche) Schwankungen unterworfen ist.

Charakteristik der bekannten technischen Lösungen

Es sind verschiedene Verfahren zur radiometrischen Gehaltsbestimmung an Schüttgütern auf Transportbändern bekannt (z. B. Koks i chimija 1979, Heft 10, S. 7; Nuclear Techniques and Mineral Resources, IAEA Wien 1977, S. 85; Handbuch der Betriebsmeßtechnik, Akad. Verlagsges. Geest und Portig 1969, Bd. 5, S. 541).

Die meisten dieser Verfahren liefern jedoch nicht ausreichend genaue Meßergebnisse. Das ist besonder darauf zurückzuführen, daß die durch wechselnde Schütthöhe und schwankende Zusammensetzung des Meßgutes bedingten Einflüsse nicht oder nur ungenügend berücksichtigt werden.

Es sind bisher nur wenige Verfahren bekannt, mit denen gleichzeitig die störenden Einflüsse von Schwankungen sowohl der Schichtdicke als auch der Aschezusammensetzung (insbesondere die durch Schwankungen des Eisengehaltes bedingten) eliminiert werden können. Um die dazu erforderlichen drei voneinander unabhängigen Informationen über das Meßgut zu erhalten, wird die in Transmission oder Rückstreuung gemessene Strahlenschwächung bei drei unterschiedlichen Quantenstrahlungsenergien ausgenutzt. In einem ersten Energiebereich (40–50 keV) wird ein erster Massenschwächungskoeffizient μ_1 des Meßgutes, in einem zweiten Energiebereich (60–100 keV) ein zweiter Massenschwächungskoeffizient μ_2 des Meßgutes und in einem dritten Energiebereich, für den der Massenschwächungskoeffizient als konstant angesehen werden kann, die Flächenmasse oder Schichtdicke bzw. Dichte des Meßgutes bestimmt. So benutzen Fookes und Mitarbeiter (Nuclear Techniques and Mineral Resources, IAEA Wien 1977) ein

3-Energie-Transmissionsverfahren, bei dem eine simultane Messung der durch das Meßgut transmittierten Gammastrahlung der Energien 32 keV, 80 keV und 356 keV erfolgt.

Die Verknüpfung der Zählraten führt auf eine für dieses sogenannte 2- μ -Verfahren mit Dickenkompensation typische Auswerteformel für den dicken- und eisenkompensierten Aschegehalt.

$$c_A = a + bQ_1 + cQ_2 \text{ mit } Q_1 = \mu_1/\mu_3 \text{ und } Q_2 = \mu_2/\mu_3.$$

Weiterhin sind Verfahren mit einer einzigen Gammastrahlungsenergie bekannt, bei denen das Rückstreuungsspektrum in drei verschiedenen Energiebereichen, die unterschiedliche Informationen über die Eigenschaften des Meßgutes liefern, ausgewertet wird. P. Stračik u. a. (Ugol' 1981, Nr. 5, S. 58) benutzen eine Primärenergie von 660 keV und werten das Rückstreuungsspektrum in den Energiebereichen 30–40 keV und 60–80 keV hinsichtlich der Kohlezusammensetzung und im Energiebereich 120–300 keV hinsichtlich der Dichte des Meßgutes aus. Dabei muß die Schichtdicke des Meßgutes mindestens 30 cm betragen.

Ähnlich arbeiten Watt und Gravitis (AU 3079-80; DE-OS 31 14668), die mindestens zwei Gammaenergien einsetzen. Die Auswertung des Rückstreuungsspektrums erfolgt bei zwei Energien, die so gewählt werden, daß ein erheblicher Unterschied in der Absorption der Strahlung durch die Kohle bzw. das mineralische Material mit und ohne Eisen besteht. Das Verfahren entspricht also dem 2- μ -Verfahren. Die Autoren empfehlen Gd-153, das Gammastrahlung bei 97 und 103 keV die Röntgen-K-Strahlung des Europiums (41–47 keV) emittiert. Die Auswertung des Rückstreuungsspektrums erfolgt in den Energiebereichen 81–107 keV und 27–44 keV. Zur Eliminierung des Dickeneinflusses muß ein weiteres unabhängiges Verfahren herangezogen werden. Der Nachteil dieser Verfahren besteht darin, daß zur Erzielung einer befriedigenden Kompensation der Wirkung der Eisengehaltsschwankungen ein großer Unterschied zwischen zwei Energiebereichen zur Bestimmung von μ_1 und μ_2 realisiert werden muß.

Dabei ist zu beachten, daß für den zweiten Energiebereich die obere Grenze bei etwa 100 keV liegt, weil der Photoeffekt mit weiter steigender Energie gegenüber der Compton-Streuung stark zurücktritt, so daß der Massenschwächungskoeffizient μ_2 schließlich unabhängig von der Stoffzusammensetzung wird. Andererseits kann der erste Energiebereich kaum unter 50 keV gesenkt werden, weil die Strahlung ja das Transportband und die Meßgutschicht (bei Kohle bis etwa 400 mm) durchdringen muß. Ebenfalls bekannt ist, daß die elastische Streuung von Quantenstrahlung mit einem Streuquerschnitt erfolgt, der eine starke Abhängigkeit von der Kernladungszahl (Z^n mit $n = 3$ bis 6 in Abhängigkeit vom Streuwinkel) aufweist, so daß mehrfach Untersuchungen zur analytischen Nutzbarmachung dieser Methode durchgeführt wurden. So wird z. B. ein Verfahren beschrieben (DE 2920364), bei dem als Meßgröße das Verhältnis der Zählraten der elastisch gestreuten und der Comptongestreuten Quantenstrahlung gebildet wird, was den Vorteil einer geringen Dicken- und Dichteabhängigkeit hat. Bei Anwendung auf Kohleproben zeigte sich jedoch, daß eine befriedigende Aschegehaltsmeßgenauigkeit nur für Kohle mit nicht zu starken Eisengehaltsschwankungen erreichbar ist. Nachteil des Verfahrens ist insbesondere, daß die Trennung von elastisch gestreuter und Comptongestreuter Strahlungskomponente nur bei Einsatz eines Strahlungsdetektors mit hohem energetischen Auflösungsvermögen, d. h. mit einem mit flüssigem Stickstoff gekühlten Halbleiterdetektor, möglich ist, der unter industriellen Bedingungen an einem Transportband nicht einsetzbar ist. Die oben genannten Untersuchungen zur Anwendung des Vorschlags wurden daher auch nur unter Laborbedingungen an relativ kleinen Proben durchgeführt, wobei ein fester Ablenkwinkel mit eng kollimiertem Strahlenbündel eingehalten wurde.

Ziel der Erfindung

Das Ziel der Erfindung ist die Erhöhung der Genauigkeit bei der radiometrischen Bestimmung des Aschegehaltes von Kohle auf Transportbändern.

Darlegung des Wesens der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur radiometrischen Bestimmung des Aschegehaltes von Kohle auf Transportbändern anzugeben, das trotz des eingeschränkten Primärenergiebereiches ein auf Schichtdicken- und Zusammensetzungsschwankungen korrigiertes Signal hoher Genauigkeit für den Aschegehalt liefert.

Die Aufgabe wird gelöst, indem das dickenkompensierte Meßsignal I_e für den Aschegehalt und das Meßsignal I_x für die Schichtdicke eines der bekannten radiometrischen Verfahren auf der Grundlage der Gammastrahlungstransmission oder -rückstreuung mit einem Meßsignal I_e verknüpft wird, das einen hohen Anteil an elastisch gestreuter Quantenstrahlung enthält. Die elastisch gestreute Strahlung einer Primärstrahlung mit der Energie E (z. B. 60 keV) liefert wegen der bekannten starken Kernladungszahlabhängigkeit des elastischen Streuquerschnittes ($\sim Z^n$ mit $n = 3$ bis 6) andersartige Informationen über die Zusammensetzung des Meßgutes als etwa der durch Transmissionsmessungen mit derselben Primärenergie E bestimmbare Massenschwächungskoeffizient μ des Meßgutes. Die Verknüpfung beider Signale ermöglicht daher bei bekannter Schichtdicke die Ermittlung des Asche- und des Eisengehaltes bzw. die Bestimmung des Aschegehaltes trotz schwankenden Eisengehaltes. Werden zusätzlich unterschiedliche Primärenergien in den beiden Meßstrecken angewandt, so wird außerdem noch die Empfindlichkeit des bekannten 2- μ -Verfahrens gewonnen. Für den Einsatz an einem Transportband ist jedoch der Einsatz derselben Primärenergie in beiden Meßstrecken von außerordentlicher praktischer Bedeutung, weil Am-241 (Primärenergie 60 keV) das einzige langlebige Radionuklid ist, das in dem für on-line-Messungen am Transportband interessierenden Primärenergiegebiet von 50 bis 100 keV verfügbar ist.

Für die Verknüpfung des Meßsignals I_e für die elastische Streuung mit dem Aschegehaltsmeßsignal I_a und dem Dickensignal I_x ist es unerheblich, nach welchem Verfahren das μ_{60} -Signal sowie I_x gewonnen werden. Um einen hohen Anteil an elastisch gestreuter Strahlung zu erhalten, empfiehlt sich der Einsatz einer Quantenstrahlung zwischen 40 und 100 keV und die Messung der gestreuten Strahlung in einer rotationssymmetrischen Vorwärtstreuengeometrie mit einem Ablenkwinkel zwischen etwa 10° und 80°. Bei Einstellung eines relativ großen Streuwinkels (im Bereich von 40° bis 80°) und Einsatz eines Halbleiterdetektors mit hoher Energieauflösung wird die Intensität I_e der mit der Primärenergie elastisch gestreuten Strahlung von der Intensität I_c der durch Comptonstreuung energieverminderten Streustrahlung mit elektronischen Mitteln getrennt und der näherungsweise

schichtdickenunabhängige Quotient $Q_s = I_E/I_c$ gebildet (DE 2920364); seine Verknüpfung mit dem Meßergebnis A eines bekannten, nichteisenkompensierten, aber dickenkompensierten Meßverfahrens für Asche (z. B. einer 2-Energietransmission) erfolgt vorzugsweise nach der Formel

$$C_{A, \text{Korr}} = a + bA + cQ_s.$$

Wird ein möglichst kleiner Streuwinkel (vorzugsweise unterhalb 30°) realisiert, wird die gesamte Vorwärtsstreuintensität I_s , die aus der elastisch und der Comptongestreuten Strahlung besteht, erfaßt, da bei so kleinen Streuwinkeln die Energieunterschiede zwischen diesen beiden Komponenten sehr gering sind, und mit dem nach einem bekannten Verfahren ermittelten Dickenwert zu einem dickenunabhängigen Wert I_s^+ korrigiert, der der weiteren Auswertung zugeführt wird. In diesem Falle lautet die oben angeführte Formel für den eisen- und dickenkompensierten Aschegehalt:

$$C_{A, \text{kor}} = a + bA + cI_s^+.$$

Die Konstanten a, b und c werden durch Messungen an Proben bekannter Dicke und Zusammensetzung ermittelt.

Ausführungsbeispiel

Figur 1 zeigt die schematische Darstellung einer Meßanordnung zur Durchführung des Verfahrens bei Verknüpfung einer 2-Energie-Transmission mit einer Vorwärtsstreuung.

Die 2-Energie-Transmissions-Meßstrecke ist an einem Förderband 1, auf dem Braunkohle 2 als Schüttgut gefördert wird, installiert. Sie besteht aus einer Strahlenquelle 3, einem Szintillationsdetektor 4, zwei Verstärkern 5 und 5', zwei Analysatoren 6 und 6' und den Zählern 7 und 7'. Die Vorwärtsstreumeßstrecke wird von den Baugruppen Strahlungsquelle 8 mit Abschirmung 9 und Kollimator 10, Strahlungsdetektor 11 mit Blende 12, Verstärker 13, Einkanalanalysatoren 14 und 14' und Zählern 15 und 15' gebildet. Ein Mikrorechner 16 dient der Auswertung der Meßsignale. Die Strahlenquelle 3 enthält 300 mCi Am-241 ($E_1 = 60 \text{ keV}$) und 3 mCi Cs-137 ($E_2 = 560 \text{ keV}$), die Strahlenquelle 8 ebenfalls 300 mCi Am-241. Der Kollimator 10 ist so dimensioniert, daß der Öffnungswinkel 2α des Strahlenbündels immer kleiner als 80° ist. Der Strahlungsdetektor 11 besitzt ein hohes energetisches Auflösungsvermögen; es handelt sich um einen Reinstgermanium-Planardetektor mit großem Durchmesser. Dicke, Durchmesser und Abstand der Blende 12 von der Detektorfrontfläche sind so gewählt, daß direkte Strahlung aus der Strahlenquelle 8 praktisch vollständig absorbiert wird, also nicht in den Detektor gelangen kann, und ein enger Streuwinkelbereich von 40° bis 60° realisiert wird. Damit ist gewährleistet, daß ein hoher Anteil an elastisch gestreuter Strahlung registriert wird.

Die 2-Energie-Transmissions-Meßstrecke liefert das dickenkompensierte Ausgangssignal $A = \mu_1/\mu_2$. Dieses Signal wird mit dem Meßwert der Vorwärtsstreustrecke $Q_s = I_E/I_c$ nach folgender Gleichung zum dicken- und eisenkompensierten Aschegehalt verknüpft.

$$C_A = a + bA + cQ_s.$$

Dabei werden die Fenster der Einkanalanalysatoren 14 und 14' so eingestellt, daß die elastisch und unelastisch (Compton-) gestreuten Strahlungskomponenten weitgehend getrennt von den Zählern 15 und 15' registriert werden. Der aus den Zählraten gebildete Quotient Q_s ist weitgehend dickenunabhängig, er muß also nicht auf Flächenmassefluktuationen der Kohle 2 korrigiert werden.

Die Konstanten a, b und c der angeführten Gleichung werden durch Kalibrierungsmessungen an Proben bekannter Dicke und Zusammensetzung bestimmt.

Die beiden Meßstrecken sind in einem solchen Abstand zueinander (in Bewegungsrichtung des Transportbandes 1) installiert und mit solchen Abschirmungen umgeben, daß eine gegenseitige Beeinflussung ausgeschlossen ist.

Kann ein Detektor 11 mit ausreichend hohem energetischen Auflösungsvermögen nicht eingesetzt werden, dann wird die Vorwärtsstreustrecke wie folgt modifiziert: es kommt ein Szintillationsdetektor zum Einsatz, und ein Analysator 14' und ein Zähler 15' fallen weg; der Kollimator 10 ist jetzt so dimensioniert, daß der Öffnungswinkel 2α des Strahlungsbündels kleiner als 30° ist. Der mittlere Streuwinkel ist ebenfalls so klein gewählt (<30°), daß wieder ein hoher Anteil elastisch gestreuter Strahlung registriert wird. Das Signal der Vorwärtsstreustrecke I_s wird auf Dicke korrigiert (I_s^+) und mit dem Meßsignal A der 2-Energie-Transmissions-Meßstrecke verknüpft:

$$C_A = a + bA + cI_s^+.$$

