

Modellbildung für einen optischen Kohlenstoffsensor

A. Schneider, R. Chabicovsky

Institut für Allgemeine Elektrotechnik und Elektronik,
TU Wien, A-1040 Wien, Austria

In der vorliegenden Arbeit wird ein Modell zur theoretischen Herleitung des Auswertalgorithmus für einen neuartigen Kohlenstoffsensor beschrieben. Das modellierte Meßverfahren dient zur Bestimmung der Konzentration von Kohlepartikeln in einem pulverförmigen Medium. Es beruht auf der Auswertung von Reflexionsmessungen, die in Kombination mit einer speziellen mechanischen Probenpräparation durchgeführt werden.

1. Einleitung

Für die kontinuierliche Überwachung des Kohlenstoffgehalts von Flugasche in einem Kohlekraftwerk wurde am Institut für Allgemeine Elektrotechnik und Elektronik in Kooperation mit der EVN (Energieversorgung Niederösterreich AG) ein optischer Kohlenstoffsensor entwickelt. Flugasche ist ein feinkörniges graues Pulver, in dem kleine Kohlepartikel eingelagert sind. Die Messung des Kohlenstoffgehalts erfolgt nach dem Reflexionsprinzip in Kombination mit einer speziellen mechanischen Probenbehandlung [1-4]. Bei dem bereits in der Praxis eingesetzten Prototyp ist der Meßablauf automatisiert. Die Flugascheprobe wird geebnet, gepreßt und durch Andrücken einer drehbaren Glasplatte einem oberflächlichen Reibprozeß unterworfen, bei dem sich das Reflexionsvermögen der Probe ändert. Aus Reflexionsmessungen vor und nach dem Reibvorgang läßt sich durch Anwendung eines speziellen Auswertalgorithmus der gesuchte Kohlenstoffgehalt berechnen. Dieses zur Auswertung der Meßsignale (Fotodiodenströme) notwendige Berechnungsverfahren wurde mit Hilfe des nachfolgend beschriebenen Modells ermittelt (Dissertation A. Schneider, in Arbeit). Aus Platzgründen wird das Modell nur in seinen Grundzügen beschrieben.

2. Modellbildung

Im Modell wird das Volumen der geebneten Flugascheprobe aus sehr kleinen Würfeln zusammengesetzt gedacht. Das Grundmaterial der Flugasche (Mischung verschiedener Oxide) wird durch transparente, lichtstreuende Würfel repräsentiert, während die Kohlepartikel durch schwarze, lichtabsorbierende Würfel modelliert werden (Fig. 1). Die relative Anzahl der schwarzen Würfel in einer Flugascheprobe wird mit a bezeichnet, wobei

$$0 \leq a \leq 1. \quad (1)$$

Unter Zugrundelegung dieser Modellvorstellung läßt sich das Reflexionsvermögen des unendlich ausgedehnten Halbraumes durch Aufsummieren der Reflexionsbeiträge aller Würfel mit einer Potenzreihe berechnen. Man erhält das Ergebnis:

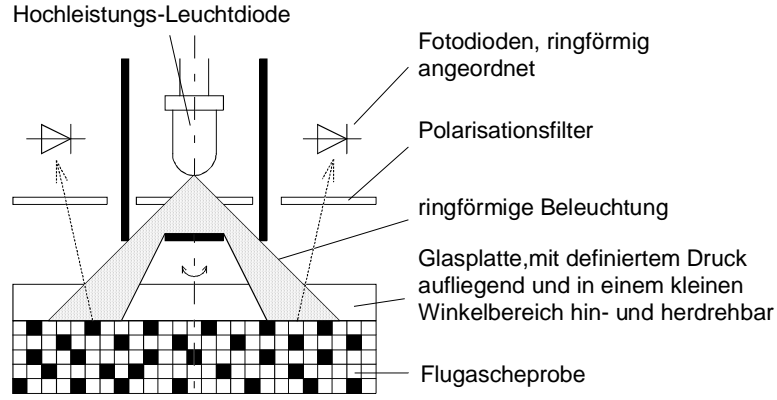


Fig. 1: Prinzipschema der optischen Meßanordnung und der im Modell aus sehr kleinen Würfeln zusammengesetzten Flugasche.

$$R = \frac{1 - \sqrt{1 - ((1 - a)/(1 + a))^2}}{(1 - a)/(1 + a)} \quad (2)$$

Dieses Resultat stimmt mit dem Ergebnis der bekannten Kubelka-Munk-Theorie [5] über die diffuse Reflexion an pulverförmigen Substanzen überein. Im Idealfall (synthetische Flugasche) kann die Größe a mit dem Kohlenstoffgehalt C in der Flugasche identisch gesetzt und aus der obigen Gleichung (2) als Funktion des gemessenen Reflexionsvermögens R direkt berechnet werden. Das Würfelmodell hat den Vorteil, daß es erweiterungsfähig ist. Es kann auch zur theoretischen Beschreibung der Reflexionsänderung durch einen Reibevorgang (siehe Einleitung) verwendet werden. Unter der Annahme, daß schwarze Würfel doppelter Größe in Würfel normaler Größe zerfallen, ergibt die Theorie folgenden Ausdruck für die Abnahme des Reflexionsvermögens:

$$\Delta R = \frac{1 - \sqrt{1 - ((1 - a)/(1 + a/2))^2}}{(1 - a)/(1 + a/2)} - \frac{1 - \sqrt{1 - ((1 - a)/(1 + a))^2}}{(1 - a)/(1 + a)} \quad (3)$$

Leider zeigt sich in der Praxis, daß in der Flugasche von Kohlekraftwerken nicht nur die Kohlepartikel absorbierend wirken, sondern auch dunkle Eisenoxidpartikel vorhanden sind. Der Eisenoxidgehalt F ist somit eine zusätzlich zu bestimmende Größe. Um beide Unbekannte (C und F) berechnen zu können, wurde ein weiteres Modell entwickelt. Es stützt sich auf die Tatsache, daß die Eisenoxidpartikel wegen ihrer Härte bei einem Reibeprozess nicht zerkleinert werden (im Gegensatz zu den Kohlepartikel). Dieses Modell liefert einen Auswertalgorithmus, bei dem nicht nur die Differenz ΔR des Reflexionsvermögens vor und nach einem Reibeprozess, sondern auch der Absolutwert des Reflexionsvermögens R am Ende des Reibevorganges benützt wird:

$$\Delta R = \frac{1 - \sqrt{1 - x_F^2((1 - C')/(1 + C'/2))^2}}{x_F(1 - C')/(1 + C'/2)} - \frac{1 - \sqrt{1 - x_F^2((1 - C')/(1 + C'))^2}}{x_F(1 - C')/(1 + C')} \quad (4)$$

$$R = \frac{1 - \sqrt{1 - x_F^2((1 - C')/(1 + C'))^2}}{x_F(1 - C')/(1 + C')} \quad \text{mit} \quad x_F = \frac{1 - F}{1 + F}, \quad C' = \frac{C}{1 - F(C + F)}, \quad (5)$$

wobei gilt: $0 \leq C + F \leq 1$.

3. Ergebnisse

Das Modell beschreibt für eine mittlere Partikelgröße die wirkliche Situation beim Messen von realer Flugasche ausreichend gut, wenn folgende Bedingungen eingehalten werden:

- a.) definierter Anpreßdruck der Glasplatte an die Flugascheprobe
- b.) konstanter Drehwinkel der Glasplatte
- c.) gleichbleibende Anzahl von Drehungen pro Messung

Mit den vom Sensor erhaltenen Meßwerten ΔR und R (abgeleitet aus dem Fotodiodenstrom der optischen Meßanordnung nach Fig. 1) werden aus den oben angeführten Gleichungen (4) und (5) die unbekanntenen Größen C und F berechnet. Die aus dem Modell resultierenden Zusammenhänge sind im Fig. 2 dargestellt.

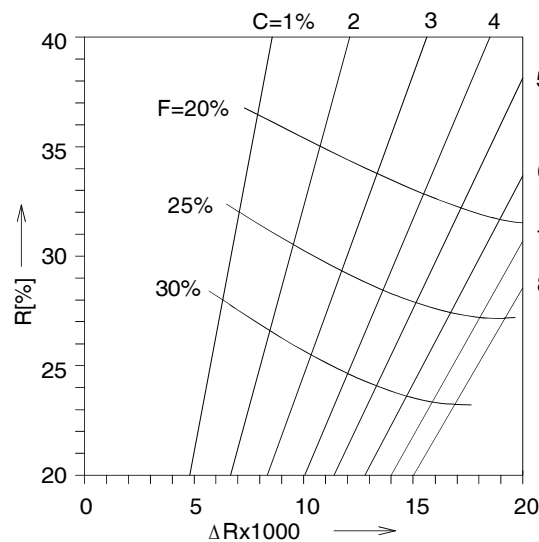


Fig. 2: Graphische Darstellung des aus dem erweiterten Würfelmodell resultierenden Ergebnisses. Aus den beiden Meßwerten R und ΔR resultiert der Kohlenstoffgehalt C und der Eisenoxidgehalt F .

Der mit dem Modell ermittelte Auswertealgorithmus wurde bei einem in der Praxis (Kraftwerk Dürnrohr) eingesetzten Prototyp eines Kohlenstoffsensors angewendet. In Fig. 3 ist ein Vergleich der Sensorresultate mit Kohlenstoffkonzentrationen, die durch chemische Analyse der Flugasche im Labor erzielt wurden, dargestellt.

Danksagung

Wir danken der Firma EVN (Energieversorgung Niederösterreich AG), insbesondere Herrn Dr. A. Aumüller, für die Förderung dieses Projekts (EVN 018/45113619).

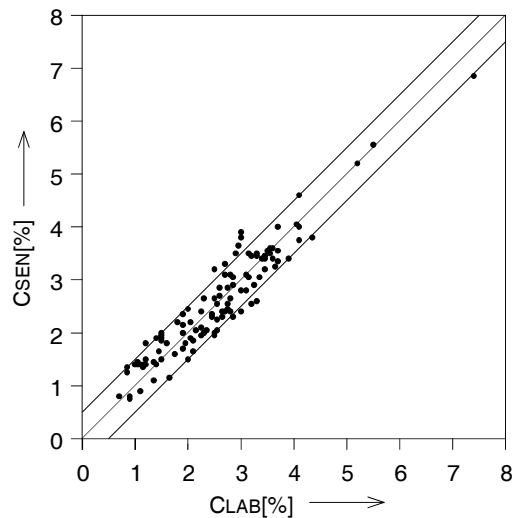


Fig. 3: Vergleich von Sensormesswerten und Laboranalysewerten, wobei die Sensormesswerte mit Hilfe des aus dem Würfelmodell entwickelten Auswertealgorithmus berechnet wurden. Anzahl der Proben: 110.

Literaturverzeichnis

- [1] A.Schneider, R. Chabicovsky: "Optischer Sensor zur Bestimmung des Kohlenstoffgehalts in Flugasche", Tagungsbericht über das Fortbildungsseminar „Grundlagen und Technologie elektronischer Bauelemente“ der Gesellschaft für Mikroelektronik, Großarl im Pongau, 5.-8. April 1995, S. 19 – 22, ISBN 3-901578-01-3.
- [2] A.Schneider, R.Chabicovsky and A.Aumüller: „Sensor for Monitoring Carbon in Fly-ash“, Proceedings: Joint Meeting of the Portuguese, British, Spanish and Swedish Sections of the Combustion Institute, Funchal, Madeira, 1.–4. April 1996, S. 3.6.1. – 3.6.4.
- [3] A. Aumüller, R. Chabicovsky, A. Schneider: „Verfahren und Vorrichtung zur Bestimmung des Kohlegehalts in Asche“, Österreichische Patentanmeldung Nr. A2195/94, Kl.G01N; 25. Nov.1994.
- [4] A. Aumüller, R. Chabicovsky, A. Schneider: „Verfahren und Vorrichtung zur Bestimmung des Kohlegehalts in Asche, Strahlungsablenkelement hierfür sowie ein Verfahren zu dessen Herstellung“, Europäische Patentanmeldung Nr. 95890211.6, 21. Nov. 1995.
- [5] G. Kortüm: „Reflexionsspektroskopie“, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1969, S.109 – 114.