

Optischer Sensor zur Bestimmung des Kohlenstoffgehalts in Flugasche

A. Schneider, R. Chabicovsky

Institut für Allgemeine Elektrotechnik und Elektronik, TU Wien
1040 Wien

Der vorgestellte optische Sensor ermöglicht die On-line-Messung von Kohlenstoff in Flugasche. Es handelt sich um eine indirekte Meßmethode, wobei aus dem diffusen Reflexionsvermögen der Flugasche auf den Kohlenstoffgehalt geschlossen wird. Eine Störgröße ist durch die Anwesenheit von ebenfalls dunklem Eisenoxid gegeben, welches durch eine induktive Messung näherungsweise erfaßt werden kann. Die vorläufig erzielte Meßgenauigkeit liegt bei ca. 0.5 Prozentpunkten im Bereich von 0 – 7% Kohlenstoff.

1. Einleitung

Flugasche ist ein beim Betrieb von Kohlekraftwerken entstehendes Abfallprodukt. Die anfallenden Mengen und Kosten einer Entsorgung liegen in wirtschaftlich bedeutender Größenordnung. Flugasche kann aber auch einer Verwertung bei der Zementherstellung zugeführt werden, wenn der Anteil des Kohlenstoffs unter 5% liegt. Mit einer Regelung des Verbrennungsprozesses kann dieser Grenzwert eingehalten werden. Dazu ist aber eine On-line-Messung des unverbrannten Kohlenstoffanteils in der Flugasche notwendig. Aufbauend auf einer experimentellen Vorarbeit [1] und einer theoretischen Bewertung verschiedener Meßmöglichkeiten [2] – [6] wurde am Institut für Allgemeine Elektrotechnik in Zusammenarbeit mit der EVN (Energieversorgung Niederösterreich) ein geeigneter Sensor mit optischem Meßprinzip entwickelt.

2. Wirkungsweise

Der Sensor zur Bestimmung des Kohlenstoffgehalts in Flugasche arbeitet auf der Basis von Reflexionsmessungen. Die Wirkungsweise ist in Abb. 1 dargestellt. Als Lichtquelle dient eine ultraleuchtstarke rote LED (635 nm, 3000 mcd). Die parallel austretende Strahlung wird durch ein kegelförmiges Acrylglaselement mit kegelförmiger Vertiefung gebrochen und als heller Ring auf der Asche abgebildet. Das Zentrum bleibt dunkel und liefert keinen Beitrag zum Meßsignal. In einem Kreis um die Lichtquelle herum sind sechs Photodioden angeordnet. Von diesen empfangen fünf die reflektierte Strahlung, während die sechste blind ist gegenüber der Asche, dafür aber durch einen Kanal Licht von der Leuchtdiode erhält und somit als Referenzdiode wirkt. Dadurch kann das Reflexionsvermögen unabhängig von Schwankungen der Bauelemente-Eigenschaften (Temperatur, Alterung) gemessen werden.

Es ist wichtig, daß nur die diffuse, nicht aber die reguläre Reflexion gemessen wird. Da Kohle glänzt, würden große Meßfehler entstehen, wenn man spiegelnde Reflexion nicht eliminieren würde. Zu diesem Zweck wird das von der Leuchtdiode emittierte Licht linear polarisiert. Vor den Photodioden ist ein um 90° gedrehtes Polarisationsfilter angebracht, welches regulär reflektierte Strahlung (spiegelnde Reflexion) unterdrückt.

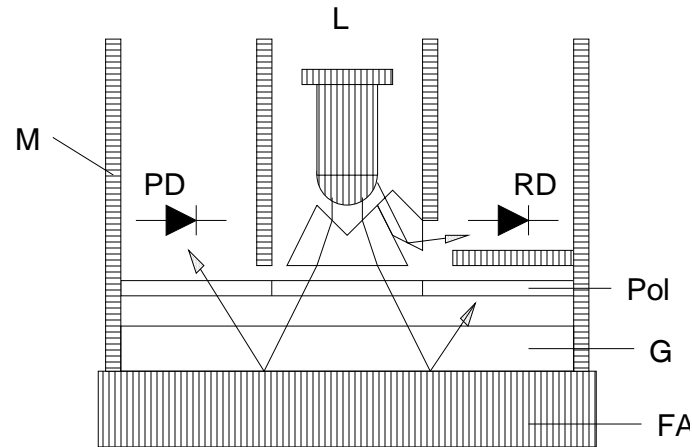


Abb. 1: Schematische Anordnung der optischen Komponenten: L...Leuchtdiode, PD...Photodiode, RD...Referenzdiode, Pol...Polarisationsfilter, G...Glasscheibe, FA...Flugasche, M...Meßzylinder (drehbar, verschiebbar). Ein Kegelstumpf aus Acrylglas mit einem kegelförmigen Loch lenkt das Licht auf einen ringförmigen Außenbereich, der zentrale Bereich bleibt dunkel.

Die in Abb. 1 dargestellten Teile (mit Ausnahme der Flugasche FA) befinden sich in einem kompakten Meßzylinder, der verschiebbar und in einem kleinen Winkel drehbar ist. Durch Drehbewegungen des Meßzylinders werden die Kohlepartikel in Kontakt mit der Glasplatte zerrieben. Dies führt zu einer Vergrößerung der absorbierenden Oberfläche und somit zu einer Abnahme der Reflexion (Abb. 2), wobei die Stärke dieser Abnahme ein Maß für den Kohlenstoffgehalt ist.

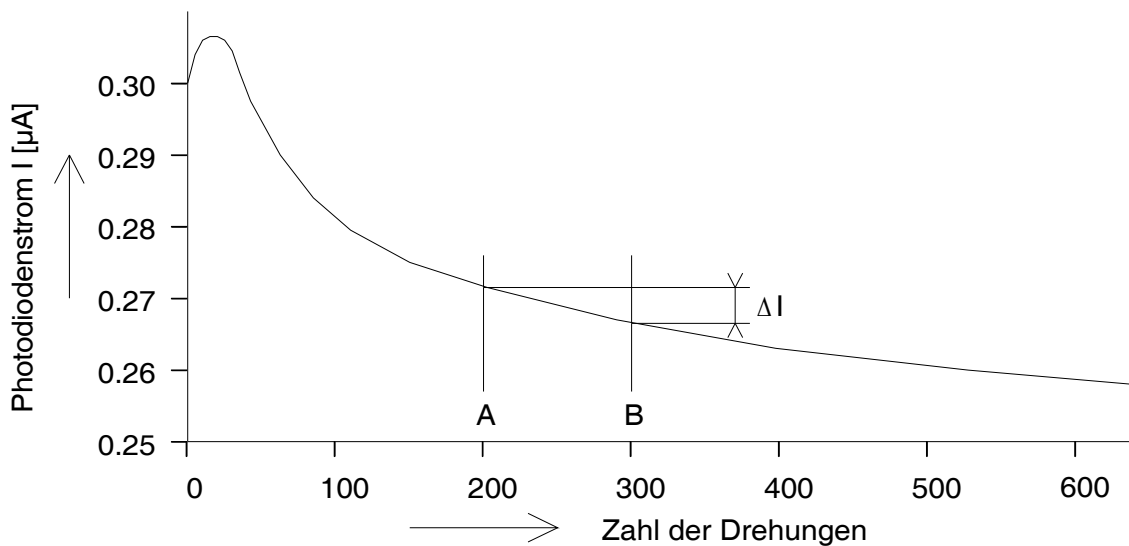


Abb. 2: Das diffuse Reflexionsvermögen einer Ascheprobe – hier dargestellt durch den Photodiodenstrom $I/\mu\text{A}$ – nimmt bei fortgesetztem Zerreiben der Kohlepartikel stetig ab. Nach 200 und 300 Drehungen des Meßzylinders wurde bei dieser als Beispiel gezeigten Probe eine Bestimmung der mittleren Korngröße durchgeführt (A: $98,5 \mu\text{m}^2$, B: $89,5 \mu\text{m}^2$).

Es existiert noch ein zweiter lichtabsorbierender Aschebestandteil, nämlich Eisenoxid in verschiedenen Oxidationsstufen. Dieses wird nicht zerrieben und beeinflusst das Meßergebnis dahingehend, daß die Änderung des Reflexionsvermögens durch das Zerreiben der Kohlepartikel bei einem geringen Eisenoxidanteil relativ stärker ausfällt als bei einem hohen Prozentsatz Eisenoxid. Mißt man die Änderung der Reflexion als Differenz zweier Meßwerte (nach 200 und 300 Drehungen), so erhält man eine Kurvenschar mit dem Eisenoxidgehalt als Parameter (Abb. 3). Eine Messung des Eisenoxidanteils ist näherungsweise möglich, indem eine Luftspule mit Asche befüllt und die Änderung der Induktivität ausgewertet wird. Aus den gemessenen Photodiodenströmen I_{200} und I_{300} läßt sich mittels Division durch den Referenzwert I_{ref} das Reflexionsvermögen berechnen, wobei noch durch einen konstanten Kalibrierfaktor k dividiert werden muß, der aus einer Messung mit einem standardisierten Weißpulver (Bariumsulfat) gewonnen wird. Der Differenzwert ΔR ergibt sich aus folgender Formel:

$$\Delta R = R_{200} - R_{300} = \frac{I_{200}}{I_{\text{REF}}k} - \frac{I_{300}}{I_{\text{REF}}k}, \quad k = \frac{I_{\text{WEISS}}}{I_{\text{REF}}} \quad (1)$$

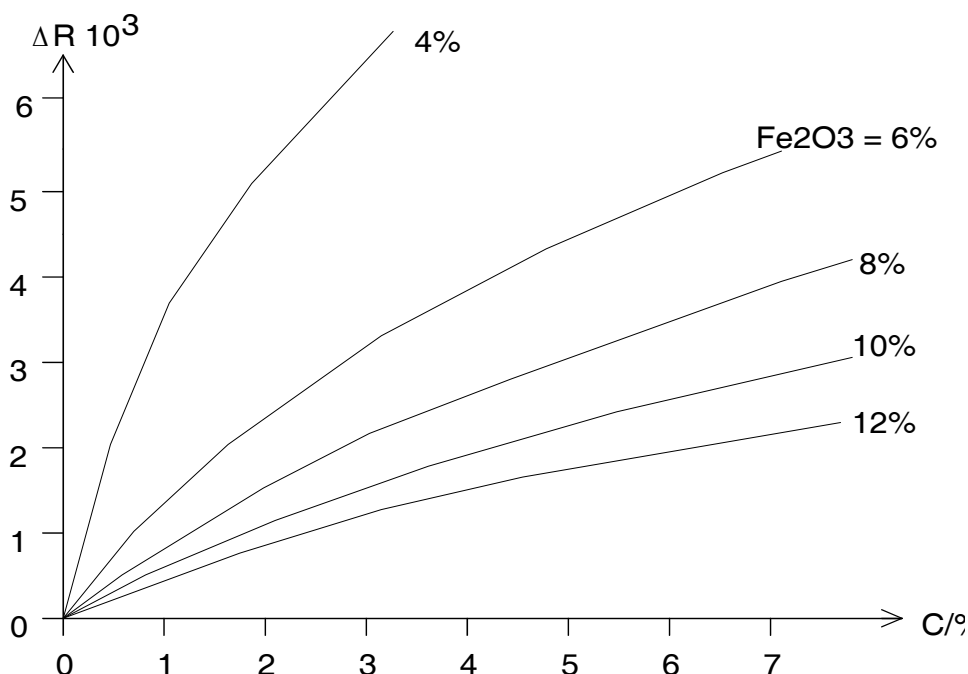


Abb. 3: Die Abnahme des diffusen Reflexionsvermögens ΔR dargestellt als Differenz der Reflexionswerte nach 200 und 300 Drehungen in Abhängigkeit vom Kohlenstoffgehalt mit dem Eisenoxidgehalt als Parameter. Die dargestellten Kennlinien ergeben sich aus einer Modellrechnung.

3. Modellbildung

Im allgemeinen wird die diffuse Reflexion mit der Theorie von Kubelka-Munk [7] beschrieben. Es hat sich jedoch gezeigt, daß im Fall der Flugasche diese Theorie nicht ausreicht. Es wurde daher ein eigenes Modell entwickelt, bei dem die Asche als aus sehr kleinen gläsernen und schwarzen Würfeln zusammengesetzt gedacht wird. Damit konnten die bei der vorgestellten Meßmethode auftretenden Phänomene wie Abnahme

der Reflexion durch Reibung der Asche (Teilen der schwarzen Würfel) und Einfluß des Eisenoxidgehalts (schwarze Würfel, die nicht geteilt werden) erklärt werden. In Abb. 3 ist eine mit diesem Würfelmodell berechnete Kurvenschar dargestellt. Ein Vergleich mit praktischen Messungen zeigte eine recht gute Übereinstimmung.

4. Ergebnis

An 60 Ascheproben konnte im Labor eine Meßgenauigkeit von $\pm 0,5$ Prozentpunkten für den Bereich von 0 – 7% Kohlenstoff erreicht werden. Nach einer längeren Umbauphase wird der Sensor zur Zeit im Kraftwerk Dürnröhr installiert. Die gesamte Meßeinrichtung ist eine Sensor-Aktor Kombination, die von einem Computer gesteuert wird. Für eine einzelne Messung wird eine Meßzeit von ca. 5 Minuten benötigt. Danach wird mit einem speziellen Algorithmus aus den Meßsignalen „Reflexion absolut“, „Reflexion-Differenz“ und „Eisenoxid“ der Kohlenstoffgehalt berechnet. Eine abschließende Aussage über die in der Praxis erzielbare Meßgenauigkeit war zu Annahmeschluß dieses Beitrags noch nicht möglich. Der hier beschriebene Sensor und sein Meßverfahren wurden im November 1994 zum Patent angemeldet.[8]

Danksagung

Wir danken der Firma EVN für die finanzielle Unterstützung dieses Projektes Nr. EVN 018/45113619 und allen Mitarbeitern des Kraftwerks Dürnröhr für ihre tatkräftige Mithilfe. Insbesondere sind wir dem Kraftwerksleiter, Herrn Dr. A. Aumüller, für seinen persönlichen Einsatz sehr zu Dank verpflichtet.

Literaturverzeichnis

- [1] J. Schwarz: „Entwicklung einer optoelektronischen Methode zur kontinuierlichen Bestimmung des Kohlenstoffgehalts in Flugasche“, Diplomarbeit am Institut für Allgemeine Elektrotechnik und Elektronik, 1991.
- [2] R.D. Kempster, P.Crosse: „Apparatus for monitoring the carbon content of boiler flue ash“, European Patent Application Nr. 86307677.4; 1986 (CO₂-Messung).
- [3] R.C. Brown: „Method and apparatus of measuring unburned carbon in fly-ash“, United States Patent Nr.5,069,551; 1991 (Photoakustik).
- [4] E. Peltonen: „Verfahren und Einrichtung zum Messen des Kohlegehaltes in Flugasche“, Deutsches Patent Nr. P3303177.0; 1983 (Kapazitätsmessung).
- [5] D.N. Trerice: „Method and apparatus for measurement of carbon content in fly-ash“, United States Patent Nr.4,705,409; 1987 (Mikrowellen-thermisch).
- [6] N.G. Cutmore: „Determination of carbon in fly ash from microwave attenuation and phase shift“, United States Patent Nr. 5,177,444; 1993.
- [7] G. Kortüm: „Reflexionsspektroskopie“, Springer 1969.
- [8] A. Aumüller, R. Chabicosky, A. Schneider: „Verfahren und Vorrichtung zur Bestimmung des Kohlegehaltes in Asche“, Österreichische Patentanmeldung Nr. A2195/94, Kl.G01N; Nov.1994.