Dynamische Messung von Partikeln mittels Aerosol-Photoemission

Autor(en): **Burtscher Heinz**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens, de l'Association des Entreprises électriques suisses**

Band (Jahr): **80 (1989)**

Heft 23

PDF erstellt am: **23.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-903745

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Dynamische Messung von Partikeln mittels Aerosol-Photoemission

Heinz Burtscher

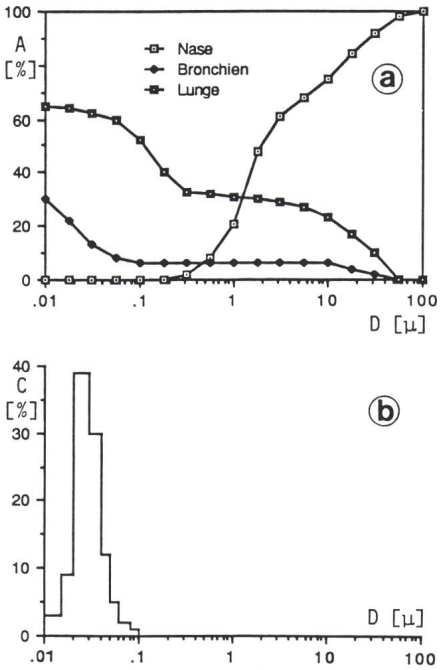
Über die Emission von Elektronen durch Bestrahlung mit ultraviolettem Licht (Photoemission) ist eine selektive und kontinuierliche Detektion von Partikeln aus unvollständiger Verbrennung möglich. Ein nach diesem Verfahren arbeitender Sensor spricht auf die auf den Partikeln enthaltenen polyaromatischen Kohlenwasserstoffe an und ist sowohl für Emissions- als auch für Immissionsmessungen einsetzbar. Ansprechzeiten von unter einer Sekunde sind erreichbar. Anwendungen bei Heizbrennern und Verbrennungsmotoren werden gezeigt.

Exposées à la lumière UV, les particules issues de combustions incomplètes émettent des photoélectrons qui permettent de les détecter de manière sélective et continue. Une sonde conçue selon ce principe est sensible aux hydrocarbures polyaromatiques déposés sur ces particules et permet la mesure d'émissions et d'immissions. Son temps de réaction est inférieur à une seconde. Quelques applications dans le domaine des brûleurs à mazout, des moteurs à combustion et du contrôle de la qualité de l'air sont présentées.

Adresse des Autors:
Heinz Burtscher, Dr. sc. techn.,
Laboratorium für Festkörperphysik,
ETH Hönggerberg, 8093 Zürich.

Neben den bekannten gasförmigen Emissionen wie CO_2, CO oder NO_X verursachen die meisten Verbrennungsprozesse auch partikelförmige Emissionen. Wenn diese Partikel gross sind ($\gg 1\ \mu$), dann sind sie sichtbar und man spricht von Russ. Der weitaus grösste Teil der Partikel ist im allgemeinen aber sehr viel kleiner und hat Durchmesser bis hinunter zu 10 nm.

Der typische Durchmesser der Primärpartikel, die bei Verbrennungen entstehen, ist 20...50 nm. Während die Konzentration der Primärpartikel je nach Art und Zustand der Verbrennung stark variiert, ist deren Grösse immer etwa gleich. Anschliessend an ihre Entstehung agglomerieren die Primärpartikel dann zu je nach Konzentration mehr oder weniger grossen flockigen oder kettenförmigen Gebilden. Die grossen dieser Partikelagglomerate können z.B. in Strassentunnels zu beachtlichen Sichttrübungen führen. Ein Grossteil der emittierten Partikel ist aber viel kleiner als die Wellenlänge des sichtbaren Lichtes. Sie sind nicht mehr sichtbar (auch im Lichtmikroskop nicht). Auch ihre Sedimentationsgeschwindigkeit wird sehr klein, und sie können sich sehr lange in der Atmosphäre aufhalten. Ausserdem erfüllt bei so kleinen Partikeln unsere Nase ihre Filterfunktion nicht mehr, das heisst sie können bis in die Lunge vordringen, was sie vom toxikologischen Standpunkt aus bedeutsam macht. Figur 1 zeigt die Durchlasscharakteristik der menschlichen Atmungsorgane und im Vergleich dazu ein typisches Grössenspektrum von Dieselpartikeln. Ihre toxische Wirkung erhalten die Partikel vor allem durch flüchtige Substanzen, die beim Abkühlen des Abgases auf den zu einem grossen Teil aus Kohlenstoff bestehenden Partikeln kondensieren. Dabei wird den polyaromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) und deren Derivaten wegen ihrer mutagenen und damit potentiell kanzerogenen Wirkung besondere Beachtung geschenkt [3]. Neben ihrer Bedeutung als Schadstoff kann die Partikelemission auch als Mass für die Qualität der Verbrennung dienen. Die Partikel sind zu einem beachtlichen Teil Produkte unvollständiger Verbrennung. Sie entstehen z.B. wenn wegen zu kleiner Luftzufuhr oder zu niedriger Brennraumtemperatur der Brennstoff nicht vollständig verbrennen kann. Wegen



Figur 1 Abscheidecharakteristik und Partikelgrössenverteilung

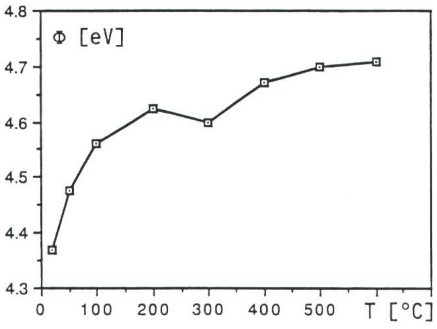
a Abscheidecharakteristik der menschlichen Atmungsorgane nach [1]
b Typische Partikelgrössenverteilung eines Dieselmotors nach [2]
A Abgeschiedener Anteil
C Anzahlkonzentration der Partikel
D Partikeldurchmesser

schlechter Durchmischung von Luft und Brennstoff kann auch lokal ein Sauerstoffmangel bestehen, obwohl insgesamt genug Luft zugeführt wird. Das heisst, dass eine geeignete Messung der Abgaspartikel auch zur Überwachung und Führung der Verbrennung herangezogen werden kann. Dafür ist eine ausreichend schnelle, möglichst kontinuierliche Messung erforderlich.

Im folgenden wird ein Verfahren vorgestellt, das selektiv auf Partikel aus unvollständiger Verbrennung anspricht und eine kontinuierliche Messung erlaubt. Es basiert auf dem photoelektrischen Effekt, d.h. der Emission von Elektronen durch Bestrahlung mit ultraviolettem Licht.

Aerosol-Photoemission

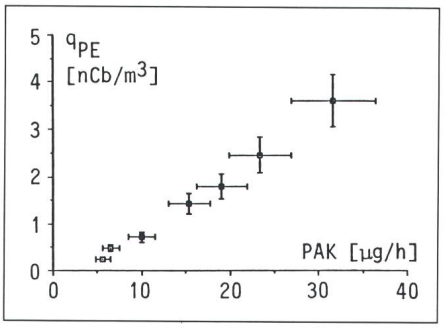
Wenn das Abgas mit ultraviolettem Licht bestrahlt wird, können aufgrund des photoelektrischen Effekts Elektronen aus den darin enthaltenen Partikeln emittiert werden, sofern deren Ionisierungsenergie kleiner ist als die Photonenenergie des eingestrahlten Lichtes. Da die Ionisierungsenergie von Gasen wesentlich höher ist als diejenige der Partikel, kann eine Ionisierung des Gases durch entsprechende Wahl der Lichtwellenlänge leicht unterbunden werden. Nach der Emission eines Elektrons verbleiben die Partikel mit einer positiven Ladung und können dann mit elektrischen Methoden detektiert werden. Der Prozess der Elektronenemission aus Partikeln ist in [4] näher beschrieben.



Figur 2 Ionisierungsenergie von Autoabgaspartikeln als Funktion der Abgastemperatur

Φ Ionisierungsenergie der Autoabgaspartikel aus Messung des Photoemissionsstromes in Abhängigkeit der Photonenenergie

T Abgastemperatur
Das Abgas wird vor der Messsonde durch eine Heizstrecke auf die Temperatur *T* gebracht; mit steigender Temperatur desorbieren oder pyrolisieren dabei Substanzen, welche die Ionisierungsenergie erniedrigen; bei ungefähr 600 °C erreicht die Ionisierungsenergie 4,7 eV, was etwa dem an reinen C-Partikeln gemessenen Wert entspricht.



Figur 3 Photoemission aus Ölbrennerabgasen als Funktion des PAK-Gehaltes

q_{PE} durch Photoemission erzeugte positive Ladungskonzentration

PAK totaler PAK-Gehalt

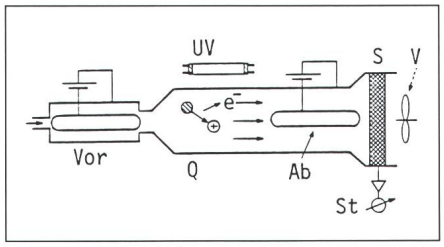
Experimentelle Angaben: Bestrahlung mit 8W-Hg-Niederdrucklampe (4,9 eV); Strömungsgeschwindigkeit: 10 l/min; Verdünnung 1:10; ein q_{PE}-Wert von 1 Cb/m³ entspricht einem Messstrom von 166 µA.

Die Ionisierungsenergie und die Austrittswahrscheinlichkeit der Elektronen sind sehr stark durch Oberflächeneigenschaften der Partikel bestimmt. Verschiedene Experimente haben gezeigt, dass von allen in der Luft oder im Abgas vorkommenden Partikeln diejenigen aus unvollständiger Verbrennung die niedrigste Ionisierungsenergie und eine hohe Ausbeute an emittierten Elektronen haben. Das heisst, bei geeigneter Wahl der Photonenenergie oder der Lichtwellenlänge können diese Partikel selektiv ionisiert und damit nachgewiesen werden.

Die hohe Emissionswahrscheinlichkeit wird durch die bereits erwähnten Adsorbate auf den Partikeln verursacht. Figur 2 zeigt die Ionisierungsenergie von Partikeln in Luftproben aus einer Tiefgarage, also im wesentlichen verdünnte Motorenabgase als Funktion der Gastemperatur. Bei steigender Temperatur dampfen die Adsorbate ab, die Ionisierungsenergie steigt und erreicht den Wert, der für reine Kohlenstoffpartikel erwartet wird. Dabei sind vor allem die PAK von Bedeutung. Dies zeigen einerseits Experimente mit künstlich erzeugten Kohlenstoffpartikeln, die mit PAK und anderen Kohlenwasserstoffen beschichtet wurden, wobei die PAK eine starke Erhöhung der Photoemission bewirkten [5]. Anderseits zeigen Messungen der Photoemission und parallele chemische Analysen der Partikel auf PAK eine starke Korrelation zwischen PAK und Photoemission. Figur 3 zeigt die Beziehung zwischen Photoemissionswerten und gaschromatographisch bestimmtem PAK-Gehalt im Abgas eines Ölbrenners [6]. Ähnliche Korrelationen wurden auch bei Messungen mit Partikeln aus der Tiefgarage [6] und bei Tabakrauch [7] gefunden.

Aufbau eines Aerosol-Photoemissionssensors

Die Figur 4 zeigt schematisch den grundsätzlichen Aufbau eines Sensors zur Messung der Photoemission an in Gas suspendierten Partikeln (Aerosol-Photoemission APE). Das Abgas strömt zuerst durch einen elektrostatischen Vorabscheider, in dem alle Ionen, die bei der Verbrennung in hoher Zahl entstehen, sowie bereits elektrisch geladene Partikel abgeschieden werden. Diese würden die nachfolgende Messung stören. Anschliessend folgt der eigentliche Photoemissionsteil, z.B. ein Quarzrohr, welches von aussen mit ultraviolettem Licht durchstrahlt wird. Ein weiterer Abscheider, an dem eine Spannung angelegt wird, welche gross genug ist, um die sehr beweglichen Elektronen zu entfernen, ohne dabei aber die positiven Partikel wesentlich zu beeinflussen, trennt Elektronen und Partikel. Die Partikel folgen dem Gasfluss und gelangen schliesslich in den Messfilter, in welchem die Partikel abgeschieden werden. Der Filter ist isoliert montiert, der Strom, den die eintreffenden positiv

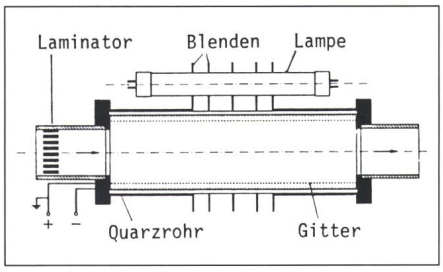


Figur 4 Schematischer Aufbau des Photoemissionssensors

UV UV-Lampe
S Staubfilter
V Ventilator
Vor Vorabscheider
Q Quarzrohr
Ab Abscheider für negative Ladungen
St Stromverstärker

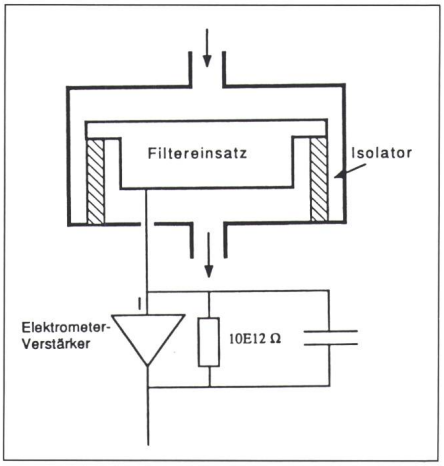
geladenen Partikel verursachen, wird mit einem mit dem Filter verbundenen Stromverstärker gemessen. Der grundsätzliche Aufbau des Sensors ist also recht einfach. Geeignete Lichtquellen sind Hg-Niederdrucklampen, die billig und problemlos im Betrieb sind.

Der Sensor hat vor allem 2 kritische Stellen: Die eine ist die Wand der Photoemissionskammer, welche ebenfalls bestrahlt wird, selber aber keine Elektronen emittieren darf, die andere der Messfilter mit dem Stromverstärker, mit welchem Ströme im Bereich von 10^{-14}A gemessen werden müssen. Die Wand sollte aus einem Material mit hoher Ionisierungsenergie bestehen. Solche Materialien sind aber Isolatoren, was eine statische Aufladung der Wand ermöglicht. Die dabei entstehenden elektrischen Felder können die Partikel abscheiden und sind also unzulässig. Lösungen, bei denen die Wand vom Lichtstrahl gar nicht getroffen wird, sind im Labor mit parallel einfallendem Licht möglich, für praktisch einsetzbare Geräte aber zu aufwendig. Eine mögliche Lösung zeigt Figur 5. Die Kammerwand besteht aus einem Quarzrohr mit zwei Metallgittern auf der Innenseite. Zwischen diesen Gittern ist eine Spannung angelegt. Nun können zwar Elektronen aus diesen Gittern oder dem Quarzrohr emittiert werden, sie werden aber durch die Spannung sofort wieder abgesaugt und können nicht ins Kammerinnere gelangen, welches selbst feldfrei bleibt. Ausserdem wird das Quarzrohr durch die Gitter vor Verschmutzung geschützt.



Figur 5 Aufbau der Photoemissionskammer

Das innere der beiden Gitter ist geerdet; zwischen den Gittern liegt eine Spannung an, durch welche Photoelektronen aus den Gittern abgesaugt werden; das Innere der Kammer bleibt feldfrei. Blenden verhindern, dass das Licht den Gaseinlass bzw. -auslass erreicht.



Figur 6 Messfilter mit Verstärker

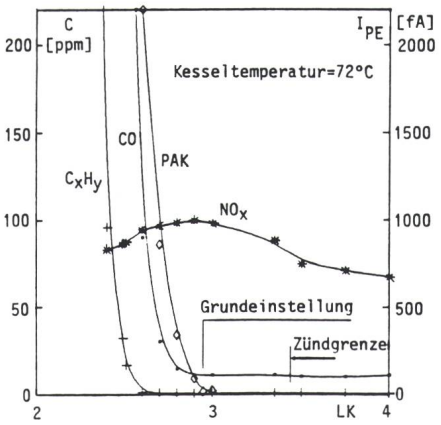
Der Isolator besteht aus einem Glasring, der Filter ist temperaturgeregelt beheizt. Eine erhöhte Temperatur verhindert Kondensation am Isolator, die konstante Temperatur verhindert die Verstärkerdrift. Als Verstärker kommt ein MOS-FET Typ ICH 8500 zur Anwendung, die Auflösung liegt bei 2 fA.

Die Figur 6 zeigt den Aufbau des Messfilters. Der eigentliche Partikelfilter, z.B. ein Papierfilter, ist in einem Faradaykäfig montiert, der durch einen Isolatorring gehaltert ist. Wegen des Faradaykäfigs ist die Leitfähigkeit des Filtermaterials unwesentlich, für den gemessenen Strom ist nur die Anzahl Ladungen, welche in den Käfig eintritt, verantwortlich. An den Isolatorring werden wegen der extrem kleinen Ströme hohe Ansprüche gestellt. Als gut brauchbare Lösung erwies sich ein Glasisolator, der ständig auf etwa 20 °C über die Gastemperatur geheizt wird. Durch die Heizung wird verhindert, dass sich der Isolator mit Feuchtigkeit aus dem Abgas beschlägt. Ausserdem wird die Verschmutzung stark reduziert, so dass auch bei längeren Messzeiten keine Verschmutzungsprobleme auftreten.

Je nach Auslegung des Sensors wird direkt im heissen Abgas gemessen oder das Abgas wird vorerst soweit verdünnt, dass der Taupunkt unter die Umgebungstemperatur zu liegen kommt (mindestens 1:5) und die Messung selbst bei Umgebungstemperatur erfolgt. Die Verdünnung kann mit gefilterter Umgebungsluft erfolgen. Die Verdünnung erlaubt auch eine höhere Strömungsgeschwindigkeit im Sensor, ohne dass sehr viel Abgas angesaugt wird. Das wirkt sich vorteilhaft auf die Ansprechzeit des Sensors aus, welche vor allem durch die Durchflusszeit des Gases durch das System bestimmt wird. Durch kompakten Aufbau und schnellen Gasfluss lassen sich Messzeiten deutlich unter einer Sekunde erreichen, d.h. es können auch instationäre Zustände bei Verbrennungsmotoren zeitaufgelöst erfasst werden. Typische Durchflussraten sind 4...10 l/min durch den Sensor und 0,5...1 l/min Abgas vor der Verdünnung. Der gleiche Sensor kann ohne Verdünnung für Immissionsmessungen und mit Verdünnung für Emissionsmessungen eingesetzt werden.

Messresultate

Im folgenden werden einige Messungen vorgestellt, die die Beziehung zwischen dem Signal der Photoemissionssonde, das wie weiter oben gezeigt dem Gehalt an PAK entspricht, und anderen Abgaskomponenten sowie Verbrennungsparametern aufzeigen. Sie sollen einige typische Einsatzmöglichkeiten demonstrieren. Figur 7 zeigt den Verlauf der wichtigsten Abgaskomponenten eines Ölbrenners als Funktion der Position der Luftklappe und der Luftzufuhr zum Brenner. Wenn zuwenig Luft zugeführt wird, steigen alle für unvollständige Verbrennung typischen Stoffe (CO, C_xH_y, PAK) sehr stark an, wobei die Messung zeigt, dass der PAK-Sensor als erster reagiert.

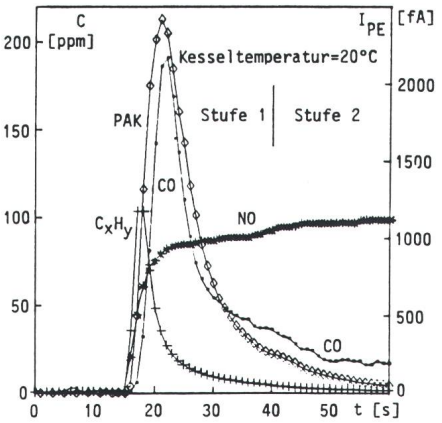


Figur 7 Emission von gasförmigen Kohlenwasserstoffen und von PAK bei einem Ölbrenner

C Konzentration gasförmiger Kohlenwasserstoffe C_xH_y, CO und NO_x

I_{PE} Photoemissionsstrom als Mass für PAK-Konzentration; Verdünnung 1:20

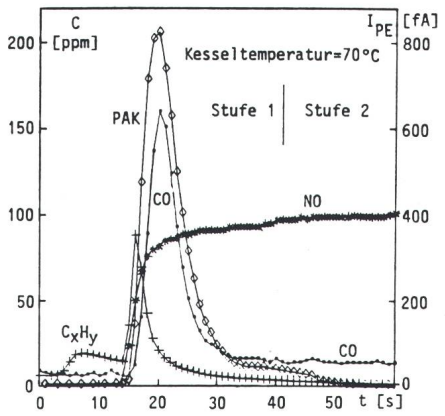
LK Luftklappenstellung am Ölbrenner



Figur 8 Schadstoffausstoss eines Ölbrenners bei Kaltstart

C Konzentration von C_xH_y, CO und NO
I_{PE} Photoemissionsstrom als Mass für PAK-Emission
t Zeit nach Einschalten des Brenners, Messungen an zweistufigem Ölbrenner

Während bei Warmstart nach ungefähr 20 s die stationären Betriebsparameter erreicht werden (siehe Fig. 9), misst man hier beim Kaltstart nach dieser Zeit noch erheblich erhöhte Abgaswerte.



Figur 9 Schadstoffausstoss eines Ölbrenners bei Warmstart

C Konzentration von C_xH_y, CO und NO
I_{PE} Photoemissionsstrom als Mass für PAK-Emission
t Zeit nach Einschalten des Brenners Messungen an zweistufigem Ölbrenner

Die Figuren 8 und 9 zeigen die Emissionen beim Start des Brenners im kalten und im vorgewärmten Zustand als Beispiel für einen transienten Vorgang. Während die Emissionen des richtig eingestellten Brenners im kontinuierlichen Betrieb gering sind, treten beim Start kurzzeitig recht hohe Werte auf, besonders beim Kaltstart. Auch hier reagiert der Partikelausstoss besonders empfindlich. Der Unterschied im Photoemissionssignal zwischen Kalt- und Warmstart ist wesentlich grösser als z.B. in der CO-Konzentration.

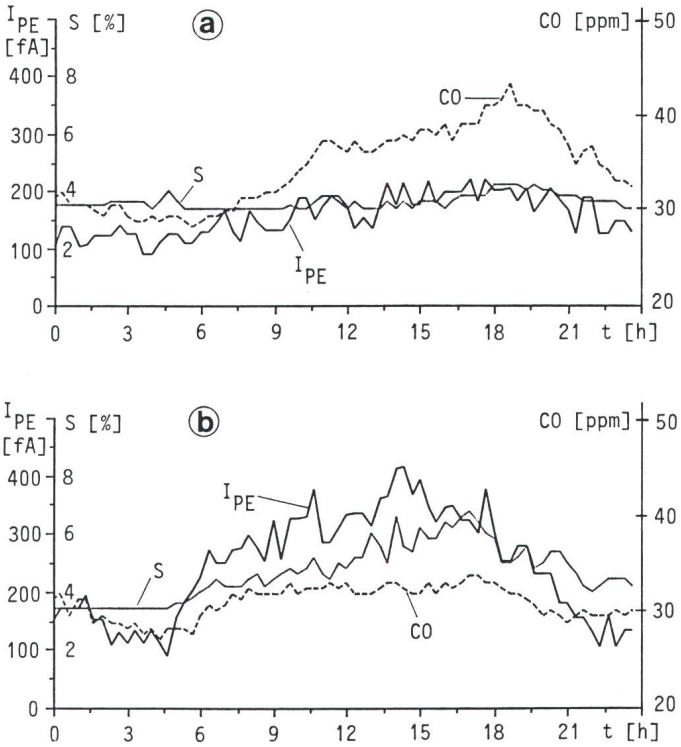
Ein weiteres Beispiel zeigt Messungen in einem Strassentunnel. Dabei wurden wieder CO- und PAK-Konzentrationen sowie die Sichttrübung gemessen. Die Figur 10 zeigt den Tagesverlauf für einen Wochentag und für einen Sonntag. Es ist sehr deutlich zu erkennen, dass die Sichttrübung, die vor allem von grossen Partikeln aus Dieselmotoren stammt, am Sonntag, wenn keine Lastwagen verkehren, sehr viel geringer ist, während das CO, das im wesentlichen von Ottomotoren produziert wird, am Sonntagabend sogar ein Maximum hat. Das Photoemissionssignal liegt dazwischen, korreliert aber besser mit der Sichttrübung. Die für die Sichttrübung relevanten Partikel stammen zum grösseren Teil von Dieselmotoren. Aber auch Ottomotoren, vor allem diejenigen ohne Katalysator, emittieren grössere Mengen an sehr kleinen Partikeln, die fast vollständig im «unsichtbaren» Grössenbereich liegen, von der Photoemissionssonde jedoch erfasst werden.

Die Partikelemissionen steigen bei Dieselmotoren sehr stark mit der Motorleistung an, wie aus Figur 11 ersichtlich ist. Hier wurde an einer Diesel-Generatorgruppe (Nennleistung 4kW) bei konstanter Drehzahl von 3000 U/min gemessen.

Schlussfolgerungen

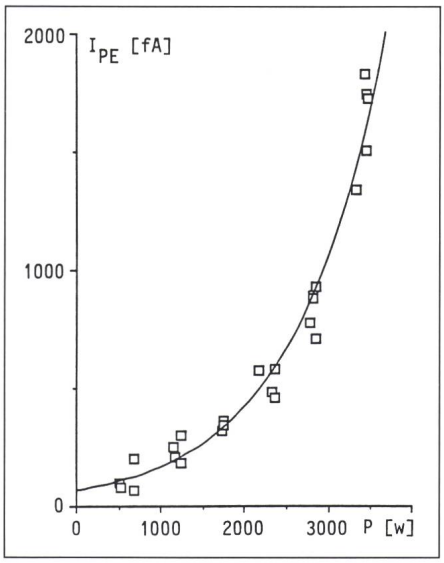
- Mit dem Photoemissionssensor wird ein Summenparameter für den PAK-Gehalt der Verbrennungspartikel gemessen.
- Die Messung erfolgt kontinuierlich mit Ansprechzeiten im Sekundenbereich (kürzere Zeiten sind möglich).
- Einsatzmöglichkeiten liegen vor allem im Bereich der Überwachung und Regelung von Verbrennungsprozessen, z.B. zur Einstellung der Luftzufuhr [8,9].
- Wegen der kurzen Ansprechzeit können auch dynamische Vorgänge (Motorbeschleunigung usw.) verfolgt werden.
- Weitere Anwendungsmöglichkeiten liegen im Bereich der Überwachung der Luftqualität, z.B. in Strassentun-

Figur 10 Tagesverlauf der CO- und der PAK-Konzentrationen sowie der Sichttrübung in Strassentunnel



a Messungen an einem Sonntag (9.7.89)
b Messungen an einem Werktag (10.7.89)
I_{PE} Photoemissionsstrom als Mass für PAK-Konzentration
CO CO-Konzentration
S Sichttrübung
t Tageszeit

Messungen erfolgten im Belchentunnel



Figur 11 Partikelemissionen bei Dieselmotor in Funktion der Last bei konstanter Drehzahl

I_{PE} Photoemissionsstrom als Mass für Partikelemission

P Last bei konstanter Drehzahl von 3000 U/min

Die durchgezogene Kurve entspricht einer Exponentialfunktion
Messung wurde an Diesel-Generator-Gruppe Yamaha EDA 4700 durchgeführt; Nennleistung $P_N = 4$ kW

nels, wo mit einer Messung Emissionen von Diesel- und Ottomotoren erfasst werden. Dies kann eventuell für Belüftungssteuerungen von Interesse sein.

Der Autor dankt Herrn *Pelet* und Herrn *Peter* von ABB für die Überlassung ihrer Messresultate sowie den Herren *Dinkel* vom kantonalen Tiefbauamt Baselland und *Oberer* vom Werkhof Sissach für ihre Mithilfe bei den Messungen im Belchentunnel. Probennahme und Analysen zur gaschromatographischen PAK-Bestimmung wurden von *S. McDow*, EAWAG, durchgeführt. Die Entwicklung des Photoemissionssensors wurde durch die Unterstützung und die gute Zusammenarbeit mit der U. Matter AG, Wohlen, sehr gefördert.

Literatur

[1] *J. Heyder a.o.:* Deposition of particles in the human respiratory tract in the size range 0.005-15 µm. Journal of Aerosol Science 17 (1986) 5, p. 811...825.

[2] *H. G. Wagner:* Soot formation in combustion. Seventeenth Symposium (International) on Combustion, Leeds/England. August 20...25, 1978; p. 3...19.

[3a] *G. Grimmer a. o.:* Analysis of the balance of carciogenic impact from emission condensate of automobile exhaust by implantation into the lung of rats as carcinogen specific detector. In : Polynuclear aromatic hydrocarbons: formation, metabolism and measurement. Proceedings of the seventh International Symposium on Polynuclear Aromatic Hydrocarbon, Battelle's Columbus Laboratories, October 26...28, 1982. Editor: M. Cooke and A. J. Dennis. Columbus/Richland, Battelle Press, 1983; p. 571...582.

[3b] *J. Santodonato, P. Howard* and *D. Basu:* Health and ecological assessment of polynuclear aromatic hydrocarbons. Journal of Environmental Pathology and Toxicology 5 (1981) 1.

[4] *H. Burtscher a. o.:* Probing aerosols by photoelectric charging. Journal of Applied Physics 53 (1982) 5, p. 3787...3791.

[5a] *H. Burtscher* and *A. Schmidt-Ott:* In situ measurement of adsorption and condensation of a polyaromatic hydrocarbon on ultrafine C particles by means of photoemission. Journal of Aerosol Science 17 (1986) 4, p. 699...703.

[5b] *R. Niessner* and *P. Wilbring:* Ultrafine particles as trace catchers for polycyclic aromatic hydrocarbons; The photoelectric aerosol sensor as a tool for in sito sorption and desorption studies. Analytical Chemistry 61 (1989) 7, p. 708...714.

[6] *S. McDow a. o.:* Polycyclic aromatic hydrocarbons and combustion aerosol photoemission. Eingereicht bei Atmospheric Environment (1989).

[7] *R. Niessner* and *F. Walendzik:* The aerosol photoemission sensor as a fast responding and sensitive detector system for cigarette smoke analysis. Fresenius Zeitschrift für Analytische Chemie 333 (1989)-S. 129...133.

[8] *H. Burtscher, A. Schmidt-Ott* and *H. C. Siegmann:* Monitoring particulate emissions from combustions by photoemission. Aerosol Science and Technology 8(1988)2, p. 125...132.

[9] Erkennen und Reduzieren von Verbrennungsabgasen. APE Aerosol-Photo-Emissions Sensor. U. Matter AG, Wohlen/AG.

Ersetzen Sie im Handumdrehn altes Licht durch Halogen.

Jetzt wechseln Sie im wahrsten Sinn des Wortes im Handumdrehn zum luxuriösen, modernen Halogenlicht – ohne spezielle Fassung und ohne Transformator. Denn die neue Halogenlampe PAR 38 De Luxe arbeitet mit normaler Netzspannung. Einfach wie einen gewöhnlichen Spot in die herkömmliche Fassung schrauben.

Die neue Halogen PAR 38 De Luxe ist die erste PAR 38 Halogen-Lampe für Netzspannung. Hotels, Boutiquen und Restaurants stellen damit im Handumdrehn, problemlos und äusserst preiswert, auf dekoratives Halogenlicht um. Und der Name Sylvania bietet Gewähr für

höchste Qualität und anhaltende Brillanz. Während ihrer Lebensdauer spart eine Halogen PAR 38 De Luxe beachtlich Strom: Eine 100 W Halogen PAR 38 De Luxe z.B. rund Fr. 8.– gegenüber einer herkömmlichen 120 W Lampe – und das ohne den geringsten Verlust an Lichtintensität. Ersetzen Sie jetzt im Handumdrehn das gewöhnliche Licht durch PAR 38 De Luxe. Der Unterschied wird Sie begeistern.

SYLVANIA GTE

GTE Sylvania A.G. 4, ch. des Léchères, CH-1217 Meyrin, Tel. 022/820072, Telex 419059, Telefax 022/820742