

Neuere Erkenntnisse bei der Untersuchung von Emissionen industrieller Anlagen*

Von JÜRGEN BERNERT

Abteilung Luftreinhaltung im Institut für gewerbliche Wasserwirtschaft und Luftreinhaltung e.V., Köln (Deutschland)

Professor August Guyer gewidmet

Summary

Recent progresses in the techniques used for studying air pollution are reviewed. The report covers methods such as dust-sampling, liquid-absorption for gases, gas chromatography, flame ionization, spectroscopy and a method for determining the sum of organic compounds.

The new knowledge was acquired during tests carried out at industrial plants by a government appointed institute. There is a difference between dust and gaseous components on one hand, between inorganic and organic emissions on the other hand.

A review of the literature is given.

Durch die fortschreitende Industrialisierung und Technisierung ist in den letzten Jahren und namentlich in den Industrieländern die Verunreinigung der Luft zu einem großen Problem geworden. Während in früherer Zeit nur relativ kleine, meist ausschließlich industriell genutzte Gebiete betroffen waren, ist es in jüngster Zeit zu teilweise großräumigen Luftverunreinigungen durch Stäube, Gase und Gerüche gekommen. Neben der mit dem allgemeinen wirtschaftlichen Aufschwung verbundenen Expansion der Industrie sind es aber auch die Erhöhung der Siedlungs- und Verkehrsdichte, die vornehmlich in den Großstädten zu einer Verschmutzung der Luft beitragen.

Diese Phänomene haben z.B. in der Bundesrepublik Deutschland Anlaß zu einer Reihe gesetzgeberischer Maßnahmen gegeben, deren wichtigste im Literaturverzeichnis unter 1 bis 9 aufgeführt sind.

Die Behörden sind berechtigt, u.a. anzuordnen, daß der Unternehmer Art und Ausmaß von Rauch, Ruß, Staub, Gasen, Dämpfen, Gerüchen, Erschütterungen, Geräuschen, Wärme, Energie, Strahlungen und Schwingungen, die von der Anlage ausgehen, feststellen läßt.

Da die Gewerbeaufsichtsämter usw. selbst keine Messungen durchführen, muß sich der Unternehmer einer von der obersten Landesbehörde – das sind in der Regel die Arbeitsministerien – besonders dazu bestimmten Stelle bedienen.

Im folgenden soll ein orientierender Überblick über eine Anzahl neuerer Erkenntnisse gegeben werden, die von einer derartigen, vom Verfasser geleiteten Meß- und Gutachterstelle in meßtechnischer Hinsicht gewonnen werden konnten.

Bei der Untersuchung von Emissionen industrieller Anlagen ist zunächst grundsätzlich zwischen staubförmigen Stoffen und gasförmigen Komponenten zu differenzieren, wobei Stäube meist in geeigneten Geräten trocken an Filtern abgeschieden und Gase durch bestimmte Absorbentien eliminiert werden.

Staubmessungen

Für Staubmessungen an industriellen Anlagen wird neben einer Reihe von anderen verwendbaren Geräten besonders das Klein-Staubmeßgerät der Bauart Lurgi-Wärmestelle des Vereins Deutscher Eisenhüttenleute (VDEH), Düsseldorf-Ströhlein, welches u. a. von BERNERT und JANOTT^{10, 11} beschrieben worden ist, deshalb häufig verwendet, da es z.B. an schwer zugänglichen oder heißen Meßstellen von dem Meßpersonal relativ bequem gehandhabt werden kann.

Das handelsübliche Gerät ist schematisch in Abb. 1 dargestellt und besteht im wesentlichen aus einem elektrisch beheizbaren, in einem Blechgehäuse untergebrachten Zylinder einer Aluminiumlegierung. Dem Zylinder sind beiderseitig konische, in Schlauchstutzen auslaufende Abschlußteile aufgepaßt, die mit schwenkbaren Flügelschrauben luftdicht aufgepreßt werden.

Die Abscheidung des Grobstaubes erfolgt in Filtersäckchen, Feinstaub wird an Planfiltern, die aus Papier, Glasfaser, auflösbarem organischem Material (z. B. Cellulose-Ester) oder anderen Materialien bestehen können, abgeschieden. Der Durchmesser des Filters beträgt 11 cm.

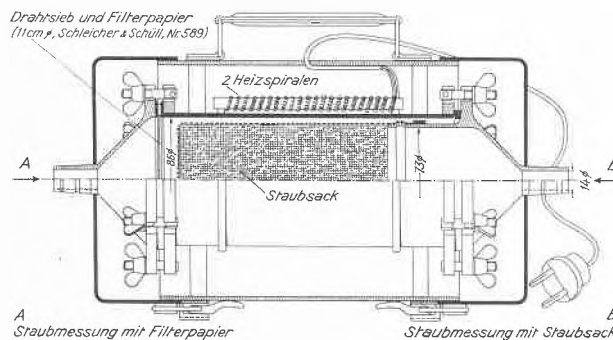


Abb. 1. Klein-Staubsammelgerät der Bauart Lurgi-Wärmestelle des Vereins Deutscher Eisenhüttenleute (VDEH), Düsseldorf-Ströhlein (schematisch)

* Eingegangen am 1. März 1967.

Im Laufe der Zeit konnten im praktischen Einsatz eine Reihe von Erkenntnissen gewonnen werden, die nach und nach zu einigen Veränderungen geführt haben, die vom Verfasser an dem Gerät vorgenommen wurden.

Es konnte z. B. festgestellt werden, daß durch das Zusammenwirken von

- Gasen mit hoher Temperatur,
- Gasen mit großem Feuchtegehalt,
- Gasen, welche aggressive Komponenten enthalten.

Korrosionserscheinungen im Innern des Zylinders dergestalt auftreten, daß die Materialoberfläche rau und uneben wird und teilweise eine grießartige Struktur annimmt. Auch besonders harte und/oder scharfkantige Stäube, z. B. solche mit hohem Kieselsäuregehalt, können zu Unebenheiten auf der ursprünglich glatten Metalloberfläche führen.

Diese sowohl durch Oxidbildung (Korrosion) als auch durch mechanische Einwirkung entstehende Rauigkeit begünstigt eine Ablagerung des Staubes an der Metalloberfläche des Zylinders, was insbesondere bei der Messung von Reingasen mit niedrigen Staubkonzentrationen beachtliche Meßfehler bewirken kann.

Für einen Einsatz der Geräte zur Messung staubhaltiger Abgase vornehmlich bei Hochtemperaturprozessen und Industrie-Abfallverbrennungsanlagen wurde deshalb der Aluminiumzylinder gegen einen Zylinder aus V4A-Stahl ausgetauscht.

Obwohl sich die Geräte in ständigem Einsatz befinden, konnten bis jetzt keine Veränderungen an den V4A-Stahlzylindern beobachtet werden.

Bei einer Anzahl von Verfahrensprozessen liegen die Abgastaupunkte relativ hoch. Zu nennen sind in dieser Hinsicht insbesondere Trocknungsprozesse infolge des hohen Feuchtegehaltes der Abgase oder Abgase aus Röst- und Schmelzanlagen mit hohen Säurebeimischungen. Auch Messungen hinter Wärmeaustauschern kommen hierfür in Betracht.

Bei diesbezüglichen Staubgehaltsmessungen reichte mehrmals die Heizleistung des Meßgerätes von 250 Watt nicht aus, um eine Taupunktüberschreitung zu gewährleisten.

Dieser Umstand tritt mitunter auch dann auf, wenn die zu messenden Anlagen im Freien stehen und die Messungen in der kalten Jahreszeit bei relativ niedrigen Außentemperaturen durchzuführen sind.

Mit einer Verdoppelung der Heizleistung auf 500 Watt konnte bisher in jedem Fall eine Taupunktunterschreitung ausgeschlossen werden. Zu erwähnen wäre noch, daß die verstärkte Heizung in der Weise eingebaut wurde, daß sie eng an dem Stahlzylinder anliegt, wodurch größere Wärmeübergangsverluste vermieden werden.

Wie aus Abb. 1 ersichtlich ist, sind an dem Gerät sowohl auf der Eingangs- als auch auf der Ausgangsseite für den Luftstrom Schlauchstutzen angebracht. Eine Verbindung der Entnahmesonde mit dem Gerät erfolgt da-

nach mittels einer Schlauchmuffe. Diese Anordnung ist mit folgenden Nachteilen behaftet:

- An den Verbindungsübergängen Schlauchstutzen/Schlauchmuffe und Entnahmesonde/Schlauchmuffe können sich Staubablagerungen bilden, die somit nicht auf das Filter gelangen und damit das Meßergebnis verfälschen.
- Während der Messungen kann der Verbindungsschlauch (Muffe) knicken, was zu einer Veränderung der Teilstrom-Entnahmegeschwindigkeit führen kann^{10,12,13,14}.
- Mehrfach benutzte Schlauchmuffen können undicht werden bzw. nicht mehr fest sitzen.
- Festsitzende Muffen dagegen sind im praktischen Einsatz, insbesondere zwischen den einzelnen Proben-Entnahmen (Auswechseln der Filtermedien usw.), schwer zu handhaben.
- Schließlich können Schlauchmuffen aus Gummi oder Kunststoffen beim Durchgang heißer Gase verkohlen oder verbrennen.

Diese Schwierigkeiten konnten in der Weise behoben werden, daß die Entnahmesonde fest ansitzend, jedoch mittels eines Bajonettverschlusses leicht auswechselbar mit dem Gerät verbunden wird. Die beiden Verbindungsflächen an Sonde und Gerät sind plangeschliffen, so daß praktisch ein kanten- und rillenloser Übergang vorhanden ist¹¹.

Die beschriebene Konstruktion sowie der Aufbau der gesamten Meßapparatur ist aus Abb. 2 ersichtlich.

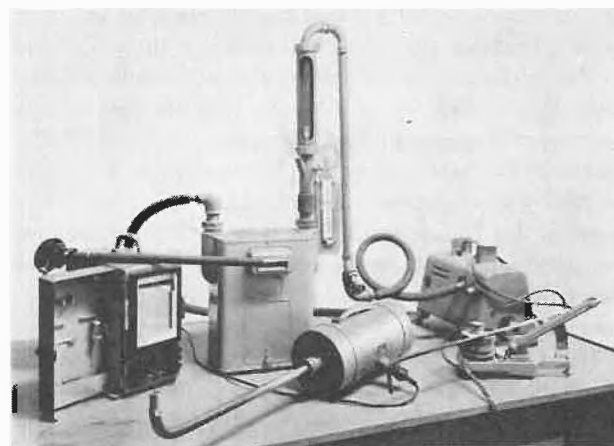


Abb. 2. Staubemissions-Meßvorrichtung komplett (photographisch). Klein-Staubsammelgerät mit fest ansitzender, auswechselbarer Entnahmesonde, Sauggebläse, Gaszähler mit angebauten Strömungs-, Temperatur- und Druckmesser, Staurohr nach PRANDTL mit Anzeigeinstrument, Thermoelement mit Elektroschreiber (vgl. hierzu Literatur 11)

Ein Sonderfall liegt, wie BERNERT und JANOTT¹⁵ berichten, dann vor, wenn es sich bei der Messung nicht um Stäube im eigentlichen wörtlichen Sinne, sondern um Salznebelemissionen handelt, wie sie beispielsweise beim Feuerverzinken (Ammoniumsalze) oder beim Umschmelzen von Leichtmetallen unter einer Salzdecke (hauptsächlich Alkalichloride) entstehen.

Bei allen diesbezüglichen Untersuchungen war es trotz Kühlung der Entnahmeleitungen nicht möglich, eine angenähert den tatsächlichen Verhältnissen entsprechende trockene Feststoffabscheidung mit den bekann-

ten Staubmeßgeräten zu erhalten. Als Filtermedium dienten dabei Schleicher- & Schüll-Filter Nr. 589/3 mit einem mittleren Porendurchmesser von $2,2 \mu\text{m}$. Laut Mitteilung der Herstellerfirma besitzt diese Zahlenangabe lediglich größenordnungsmäßigen Wert, da die Zurückhaltung von Partikeln auf Filtrierpapieren noch durch eine Anzahl anderer Faktoren bestimmt wird. Die Verwendung noch feinporiger Filter bewährte sich deshalb nicht, weil damit ein zu großer Unterdruck in der Probenahmeleitung entsteht. Es wurde deshalb bei allen weiteren Messungen an $n/10$ Schwefelsäure und 0,5prozentige Natronlauge absorbiert. Die Probenahmeverrichtung ist schematisch aus Abb. 3 ersichtlich.

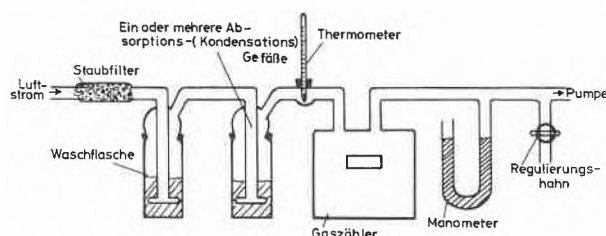


Abb. 3. Anordnung einer Probenahmeverrichtung für Gasemissionsmessungen (schematisch). Bei der Untersuchung von Salznebel-emissionen kommt das Staubfilter in Fortfall (siehe Erläuterungen im Text und Literatur 15)

Wie die Analyse ergab, sind in den Salznebelemissionen bei der Feuerverzinkung Zink, Aluminium und Chlorid nachzuweisen. In welchem Verhältnis diese Komponenten dabei zueinander stehen, wobei ein Teil des Cl-Ions auf Ammoniumchlorid entfällt, ist meßtechnisch kaum zu erfassen.

Es ist bekannt, daß Ammoniumchlorid leicht sublimiert und dabei in Umkehrung zu seiner Bildungsgleichung in Ammoniak und Salzsäure dissoziiert. Bei 350°C ist die Dissoziation vollkommen. Die Frage, ob sich das dissoziierte Ammoniumchlorid bei der Abkühlung in Gegenwart anderer Kationen wieder zu undissoziiertem Ammoniumchlorid verbindet, kann anhand der durchgeführten Versuche nicht beantwortet werden. Außerdem dürfte ein Teil sowohl des Zinks als auch des Aluminiums als Oxid in der Emission vorliegen.

Die Emission kann danach entweder in Chlorid-, Zink- und Aluminium-Ionen angegeben oder theoretisch auf Salzgehalt umgerechnet werden.

Gasmessungen

Die meßtechnische Erfassung von anorganischen gasförmigen Komponenten in Industrieabgasen bereitet heute im allgemeinen keine nennenswerten Schwierigkeiten mehr. Mittels diskontinuierlicher Teilstromentnahme können praktisch fast alle sauren Gase in alkalischer und alkalische Komponenten in saurer Lösung absorbiert und danach analytisch nachgewiesen werden.

Eine diesbezügliche Probenahmeanordnung ist schematisch in Abb. 3 wiedergegeben.

Besonders bewährt hat sich dabei die sogenannte Impinger-Waschflasche, wie sie z. B. durch die VDI-Richtlinien 2452¹⁶ u. a. zur Bestimmung von Fluor-Ionen empfohlen wird. Eine photographische Darstellung einer derartigen kompletten Meßapparatur enthält Abb. 4.

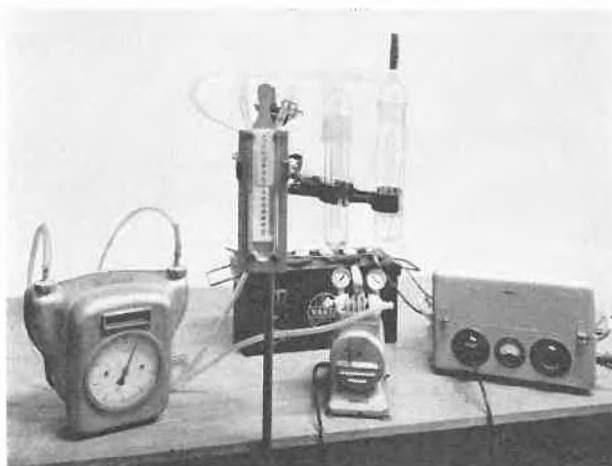


Abb. 4. Standard-Impinger-Probenahmeapparatur komplett zur Messung von gasförmigen Luftverunreinigungen, insbesondere Fluor-Ionen nach VDI-Richtlinie 2452 (Standard-Impinger, Tropfenabscheider, U-Rohr-Manometer, Gaszähler, Saugpumpe, Gleichstromquelle, Wechselrichter)

Zur partiellen Bestimmung von Schwefeldioxid und -trioxid in Rauchgasen usw. hat sich die Apparatur nach CORBETT/TÜV (Essen)¹⁷ inzwischen bestens bewährt, weshalb hier darauf nicht näher eingegangen zu werden braucht.

Ungleich schwieriger dagegen ist meistens die Erfassung organischer Komponenten in Abgasen industrieller Anlagen.

Im allgemeinen sind der Bestimmung von Emissionen und Immissionen organischer Verbindungen heute noch gewisse Grenzen gesetzt. Es ist zwar möglich, z. B. mittels der Gaschromatographie oder Infrarotspektroskopie, eine bestimmte Anzahl von Komponenten quantitativ zu erfassen. Die Voraussetzung ist allerdings, daß die zu untersuchenden Stoffe bekannt sind. (Auf die Möglichkeit der Herstellung von Eichgas-Gemischen hat GRUPINSKI¹⁸ hingewiesen.) Darüber hinaus treten aber bei der Temperaturbehandlung von organischen Stoffen (z. B. bei der Lacktrocknung) meist Crackprodukte (Abbauprodukte) unbekannter Zusammensetzung auf, durch die eine vollständige Erfassung sowohl der Emission als auch die Ermittlung des Wirkungsgrades einer eventuell vorhandenen Abluftreinigungsanlage unmöglich gemacht wird.

Über Möglichkeiten und technische Verfahren zur Reinigung von Emissionen organischer Verbindungen hat BERNERT^{19, 20, 21, 22, 23} ausführlich berichtet, worauf an dieser Stelle nur der Vollständigkeit wegen hingewiesen werden soll.

Die bisher in der Praxis zur Messung organischer Emissionskomponenten angewandten Meßverfahren können grundsätzlich in zwei Gruppen eingeteilt werden²⁴.

- I. Probenahme und Auswertung am Ort:
 - Gasspürröhrchen
 - Explosimeter
 - Flammenionisationsdetektor
- II. Probenahme am Ort und Auswertung im Laboratorium:
 - Gaschromatographie
 - Infrarotspektroskopie
 - Silicagel-Röhrchenmethode nach STRATMANN.

Über die Vor- und Nachteile dieser Methoden wurde von GRUPINSKI¹⁸ teilweise berichtet. Es muß dazu ergänzt werden, daß z. B. Gasspürröhrchen bei der Untersuchung von Emissionen in den meisten Fällen nur für orientierende Messungen geeignet sind. Die Methode der Flammenionisation ist einmal sehr kostenaufwendig und stößt zum anderen bei den überwiegend vorliegenden rauen Betriebsverhältnissen auf vielerlei technische Schwierigkeiten. Derartige nach diesem Meßprinzip arbeitende Geräte befinden sich zur Zeit noch in der Erprobung.

Vom Verfasser werden deshalb hauptsächlich die unter II genannten Methoden angewandt, zu denen folgendes Spezielles gesagt werden kann²⁴.

Gaschromatographie

Eine Probenahme mittels Gassammelrohren (Pipetten) ist für die gaschromatographische Analyse fast immer, infolge zu geringer Konzentration der einzelnen zu bestimmenden Komponenten, ungeeignet.

Die Probenahme erfolgt aus diesem Grund durch Absaugung eines definierten über Experimentiergaszähler, Manometer und Thermometer gemessenen Teilgasstromes, der in Spezialabsorbergefäßen spezifisch absorbiert wird. Die Absorbentien müssen für jede Untersuchung individuell ausgewählt werden, wobei sich im allgemeinen organische, unpolare Lösungsmittel gut bewährt haben.

In einem Fall, wo Toluol, 1,2-Dichloräthan und Methanol zu bestimmen waren, wurde *n*-Heptan als Absorbens mit gutem Erfolg verwendet. Die Auftrennung der genannten Komponenten und des Absorptionsmittels *n*-Heptan wurde an einer Desmophen-Säule 2200 (Bayer), Länge = 3 m Kupferrohr, 4 × 6 mm, durchgeführt. Für die Herstellung des Säulenmaterials wurde eine 10 prozentige Desmophen-2200-Lösung in Methylchlorid auf Chromosorb[®] aufgezogen. Die gleiche Trennung ist auch auf einer entsprechenden Reso-Säule, LAC-2-R 446, zu erreichen. Die Aufnahme wurde mit einem «GC 2 Beckman»-Gaschromatographen und einer Desmophensäule unter folgenden Bedingungen durchgeführt.

Trärgas: Wasserstoff 78 ml/min
Temperatur: 52° 25 ψ = 1,7 atü

Für die quantitative Bestimmung der Komponenten Methanol, 1,2-Dichloräthan und Toluol in *n*-Heptan ist als innerer Standard eine definierte Menge Benzol zuzusetzen, welches im Chromatogramm gut abgetrennt wird.

In einem anderen Fall wurde nach Absorption in *n*-Octanol mit einem Doppelsäulen-Gaschromatographen der Firma F. & M. Scientific, Modell 810, unter folgenden Bedingungen analysiert.

Trennsäule: 40–240°C programmiert mit einer Anstiegsrate von 10° pro Minute, Injektionsstelle 160°, Detektor 315°
Detektor: Doppel-Flammenionisationsdetektor
Trärgas: Helium (35 Ncm³/min)
Empfindlichkeit der elektronischen Einstellung: 10³/1 : 4 bis 10³/1 : 32

Bei gaschromatographischen Emissionsuntersuchungen ist hinsichtlich der Probenahme noch zu erwähnen, daß z. B. eine adsorptive Anreicherung an Aktivkohle nur bei relativ hohen Konzentrationen geeignet ist. Wie Versuche ergeben haben, ist eine 100 prozentige Desorption praktisch nicht möglich. Die an der Kohle verbleibende Restsubstanz muß also, wenn größere Analysenfehler ausgeschlossen werden sollen, vernachlässigbar klein sein im Verhältnis zur Gesamtbeladung der aktiven Schicht.

Als Emissionskomponenten sind in der Praxis bisher rund 185 definierte Kohlenwasserstoffe beobachtet worden. Die Anzahl allein läßt bereits erkennen, daß eine gaschromatographische Bestimmung mitunter außerordentlich schwierig werden kann. Obwohl mit einiger Sicherheit angenommen werden kann, daß diese Gesamtzahl niemals gleichzeitig vorliegen wird, so können es jedoch in bestimmten Fällen eine ganze Reihe von Komponenten sein, die spezifisch getrennt werden müssen.

Zu diesem Zweck kann, allerdings mit relativ großem Aufwand, empfohlen werden, wie folgt zu verfahren:

- zuerst alles tiefkühlen (ausfrieren),
- danach fraktionsweise aufheizen und
- die einzelnen Temperaturbereiche analysieren.

UV-Spektroskopie

In letzter Zeit werden in verstärktem Maße Untersuchungen von Phenolemissionen gefordert. Nach umfangreichen Versuchen konnte festgestellt werden, daß sich hierzu die UV-spektroskopische Bestimmung ganz besonders eignet²⁴. Phenol und die isomeren Kresole zeigen in ihrem Differenzspektrum (Messung einer alkalischen Lösung gegen eine saure Lösung gleicher Konzentration) ein Absorptionsmaximum im Bereich von 289–298 nm ungefähr gleicher Absorptionsstärke, so daß der Mittelwert der Einzelfaktoren *F* einer summarischen Bestimmung der Phenole zugrunde gelegt werden kann. Die genaue Lage des Absorptionsmaximums wird durch das Mischungsverhältnis der Komponenten bestimmt. Die Extinktionen zeigen eine lineare Konzentrationsabhängigkeit.

Zur Analyse wird das Volumen V der Absorptionslösung in einem Meßzylinder bestimmt. In zwei 50-ml-Meßkolben werden von der Lösung je 25 ml einpipetiert. Der eine der beiden Kolben wird mit Schwefelsäure deutlich sauer, der andere mit Natronlauge alkalisch gestellt und beide Kolben mit Wasser bis zur Marke aufgefüllt. Mit einem Spektralphotometer wird das Differenzspektrum der alkalischen gegen die saure Lösung im Bereich von 340–250 nm in Küvetten geeigneter Schichtdicke (d) gemessen und die Extinktion E im Absorptionsmaximum nach folgender Gleichung bestimmt:

$$Ph = \frac{E \cdot V \cdot L}{F \cdot d}$$

Ph = Gesamtmenge Phenol in der Absorptionslösung

E = Extinktion im Maximum

V = Volumen

L = Verdünnungsverhältnis

F = Mittelwert der Einzelfaktoren

d = Küvettschichtdicke (cm)

Die Probenahme erfolgte durch Absorption in 1/10- n Natronlauge, wobei sich gut beständige Phenolate bilden. Zur Analyse diente ein Spektralphotometer 137-UV der Firma Perkin-Elmer & Co.

Es tritt mitunter der Fall ein, daß stark verunreinigte Proben erhalten werden. Die UV-Absorptionsmaxima werden dadurch teilweise in das Gebiet anderer Wellenlängen verschoben. Diese Fehlerursache kann relativ einfach durch vorherige Destillation nach einer in der Literatur²⁴ ausführlich beschriebenen Methode ausgeschaltet werden.

Gesamtkohlenstoffzahl nach der Silicagel-Röhrchenmethode

Wenn entweder in bestimmten Fällen auf die Ermittlung von Einzelkomponenten verzichtet werden kann oder wenn aus den eingangs geschilderten Gründen (Crackprozesse) die Erfassung aller Einzelkomponenten nicht möglich ist, kann eine Bestimmung der Summe aller organischen Anteile nach der Silicagel-Röhrchenmethode²⁴ erfolgen.

Das Prinzip dieser Methode kann wie folgt kurz beschrieben werden. Während jeweils 10 Minuten wird aus der abgasführenden Leitung ein Teilgasstrom von 25 bis 30 Normalliter durch ein mit präpariertem Silicagel gefülltes und mit Schliffstopfen verschließbares Quarzröhrchen gesaugt.

Zur analytischen Bestimmung werden im Laboratorium die bei der Probenahme quantitativ adsorbierten organischen Substanzen bei einer Temperatur von etwa 800°C desorbiert und im trockenen CO₂-freien Sauerstoffstrom an einem Platinkontakt zu Kohlendioxid und Wasser verbrannt. Im Abgas oder in der Luft bereits vorhandenes Kohlendioxid wird, wie IXFELD und BUCK²⁵ mitteilen, von dem präparierten Silicagel nicht aufgenommen. Eine Beeinflussung des Analyseergebnisses durch das in den Abgasen stets vorhandene Kohlendioxid ist somit ausgeschlossen.

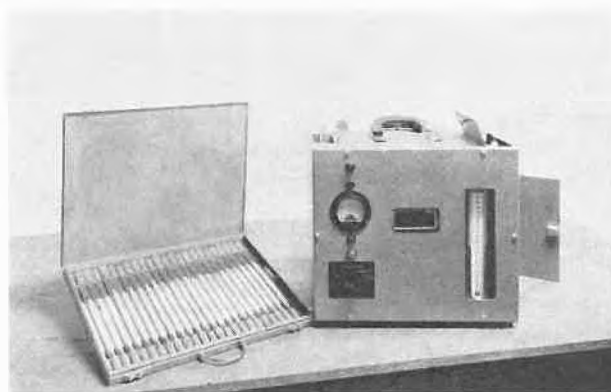


Abb. 5. Probenahmekoffer mit Quarzröhrchen zur Untersuchung von Emissionen organischer Verbindungen nach der Silicagel-Röhrchenmethode. Literatur 24, 25

Schwefeloxide und Halogenverbindungen werden durch Chemosorption an Silberwolfe eliminiert. Die dazu benutzten Apparaturen sind in den Abbildungen 5 (Probenahmekoffer mit Quarzröhrchen nach STRATMANN) und 6 (Desorptionsapparat) dargestellt.

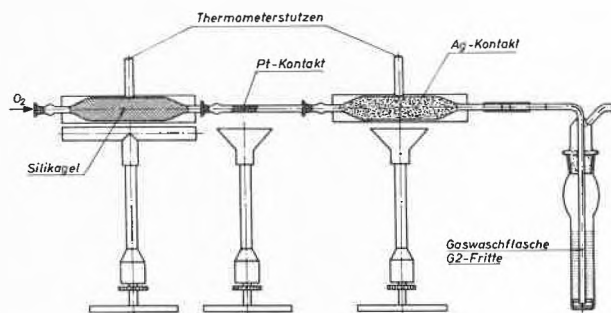


Abb. 6. Desorptionsapparat zur Untersuchung von Emissionen organischer Verbindungen. Literatur 24, 25 (schematisch)

Hinsichtlich der Handhabung und einer ausführlichen Beschreibung der Apparaturen wird auf die genannte Literatur^{24, 25} verwiesen. Das bei der Desorption gebildete Kohlendioxid soll nach IXFELD und BUCK²⁵ in Ba(OH)₂-Lösung absorbiert und danach mit 1/10- n Oxalsäure titrimetrisch bestimmt werden.

Insbesondere bei der Rohgasbestimmung konnte jedoch infolge der relativ hohen Beladung der Silicagel-röhrchen bei der Desorption bei einigen Proben keine quantitative Absorption in der Bariumhydroxidlösung erreicht werden. Ein geeignetes Verfahren wurde vom Verfasser²⁴ schließlich in der Methode der organischen Elementaranalyse gefunden, wonach in U-Röhren zunächst das Wasser an Phosphorpentoxid gebunden und das Kohlendioxid an Natronkalk absorbiert wird. Die quantitative Bestimmung erfolgte durch Feststellung der Gewichtszunahme mittels Wägung.

Zum Abschluß wird noch auf eine Besonderheit aufmerksam gemacht, die sich bei Wirkungsgradbestimmungen an großen Entstaubungs- und Abgasreinigungsanlagen allgemein als vorteilhaft erwiesen hat.

Wie bekannt ist, müssen bei einer exakten Wirkungsgradbestimmung die Messungen gleichzeitig und während derselben Zeitdauer sowohl auf die Rohgas- als auch auf der Reingasseite der Reinigungsanlage erfolgen^{10, 12}. Bei sehr großen Anlagen bedeutet dies, daß die beiden Meßstellen räumlich mitunter sehr weit auseinanderliegen können; z.B. die Rohgasmeßstelle am Ende einer Feuerungsanlage im Kesselhaus und die Reingasmaßstelle an der Mündung eines hohen Kamins.

Eine Verständigung des Meßpersonals untereinander durch Funkverbindung oder transportables Telefon verhindert in derartigen Fällen eine Anzahl von Messungen, die im Endergebnis meistens deshalb verworfen werden müssen, weil z.B. die Rohgasmessung – infolge Verstopfung des Meßgerätes o. ä. – «früher als vereinbart» abgebrochen werden mußte.

Bei vorhandener Funkverbindung usw. kann die Reingasmaßstelle zum augenblicklichen Abbruch der Messung veranlaßt werden, ohne daß deshalb die Messung für ungültig erklärt zu werden braucht.

Literatur

1. Gesetz zur Änderung der Gewerbeordnung und Ergänzung des Bürgerlichen Gesetzbuches vom 22. Dezember 1959, *Bundesgesetzblatt I* (1959) 781.
2. Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen nach § 16 GewO 4. August 1960, *Bundesgesetzblatt I* (1960) 690.
3. Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft, gemeinsames Min. Bl. Nr. 26 der Bundesregierung vom 14. September 1964, Carl Heymanns Verlag, Köln 1964.
4. Gesetz zum Schutze vor Luftverunreinigungen, Geräuschen und Erschütterungen, Immissionsschutzgesetz vom 30. April 1962 GV NW 1962, S. 225.
5. Wie Ziffer 4 vom 4. Februar 1964, *Gesetzblatt für Baden-Württemberg*, Nr. 3, S. 55, vom 14. Februar 1964.
6. Wie Ziffer 4 vom 6. Januar 1966, *Niedersächsisches Gesetz- und Verordnungsblatt*, Nr. 1, S. 1, vom 14. Januar 1966.
7. Wie Ziffer 4 vom 28. Juli 1966, *Gesetz- und Verordnungsblatt Rheinland-Pfalz*, Nr. 47 (1966) 211.
8. Maßnahmen zur Verminderung der Emissionen bei langanhaltenden austauscharmen Wetterlagen, Min. Bl. NW Nr. 138 vom 29. Oktober 1963, S. 1791.
9. J. BERNERT, Luftreinheit in Gießereien und in der metallverarbeitenden Industrie, *Wirtschaft u. Techn.* 8 (1966) 20–22.
10. J. BERNERT, Staubmeßverfahren unter besonderer Berücksichtigung der Methoden zur Leistungsmessung von Entstaubungsanlagen, *IWL-Forum* 2 (1964) 331, IWL-Eigenverlag, Köln.
11. J. BERNERT und H. JANOTT, Ein modifiziertes Standard-Staubmeßgerät und seine praktische Anwendung bei Hochtemperaturprozessen und Industrie-Abfallverbrennungsanlagen, *Wasser, Luft u. Betrieb*, Heft 4 (1967) im Druck.
12. VDI-2066: Leistungsmessungen an Entstaubern, *VDI-Handbuch Reinhaltung der Luft*, VDI-Verlag, Düsseldorf 1966.
13. E. WALTER, Zur Problematik der Entnahmesonden und der Teilstromentnahme für die Staubgehaltsbestimmung in strömenden Gasen, *Staub*, Heft 53 (1957) 880–98.
14. W. HANSCH, Zum Problem der Entnahme von Emissionen mit Sonden, *IWL-Forum* 1 (1963) 59–66, IWL-Eigenverlag, Köln.
15. J. BERNERT und H. JANOTT, Erfahrungen bei Emissionsuntersuchungen an Feuerverzinkungsanlagen, *Wasser, Luft u. Betrieb* Nr. 10 (1965) 670–5.
16. VDI-Richtlinie 2452: Messung der Fluor-Ionen-Konzentration, *VDI-Handbuch Reinhaltung der Luft*, VDI-Verlag, Düsseldorf 1963.
17. Vereinigung der Großkesselbesitzer: Meß- und Analysenverfahren zur Prüfung der Luftverunreinigung durch Feuerungsanlagen, Vulkan-Verlag, Essen 1962.
18. L. GRUPINSKI, Erfahrungen bei Emissionsmessungen zur Bestimmung von Lösemitteldämpfen und Kohlenwasserstoffen, *Wasser, Luft u. Betrieb*, Heft 2 (1966) 77–80.
19. J. BERNERT und V. DITTRICH, Luftreinheit und Abwasserbehandlung in der industriellen Betriebspraxis, *Wirtschaft u. Techn.* Heft 8 (1964) 16–20.
20. J. BERNERT, Luftverunreinigung durch Dämpfe organischer Lösungsmittel, *Wasser, Luft u. Betrieb*, Heft 9 (1964) 537–40.
21. J. BERNERT, Rechtliche und technische Fragen der industriellen Luftreinheit unter besonderer Berücksichtigung organischer Geruchsstoffe, *Die Stärke*, Heft 5 (1965) 162–6.
22. J. BERNERT, Abgasreinigung durch katalytische Verbrennung mit Ganzmetall-Katalysatoren, *Wasser, Luft u. Betrieb*, Heft 4 (1965) 235–40.
23. J. BERNERT, Ermittlung der erforderlichen Schornsteinhöhen unter Anwendung von Korrekturfaktoren zur Berücksichtigung der Umgebungstopographie, *IWL-Forum* 3 (1966) 401–13, IWL-Eigenverlag, Köln.
24. J. BERNERT, Meßverfahren für die Untersuchung von Emissionen und Immissionen organischer Verbindungen, *Wasser, Luft u. Betrieb*, Heft 6 (1966) 396–406.
25. H. IXFELD und M. BUCK, Eine Methode zur Bestimmung der Gesamtmenge verbrennbarer organischer Substanzen in Abgasen, *Brennstoff-Chem.* 47 (1966) Heft 2.