

# Neue Analysemethode zur kontinuierlichen Emissionsmessung von Quecksilber an Verbrennungsanlagen

Michael Boneß

1.	Übersicht der bisher eingesetzten Messverfahren für die kontinuierliche Quecksilbermessung .....	585
2.	Messgerätevalidierung.....	588
3.	Zusammenfassung der bisherigen Messverfahren .....	589
4.	Ein neues Messverfahren zur kontinuierlichen Quecksilbermessung.....	589
5.	Zusammenfassung und Ausblick.....	591
6.	Quellen .....	594

Bereits seit Ende der 90er Jahre werden zur kontinuierlichen Erfassung der Hg-Emissionen an Abfallverbrennungsanlagen in Deutschland kontinuierliche Messgeräte eingesetzt. Maßgeblich gibt es die Verpflichtung für die Betreiber von Verbrennungsanlagen gem. 13. und 17. BImSchV. einen 24 h Grenzwert von  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  Quecksilber und einen Halbstundenmittelwert von  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  einzuhalten. Dementsprechend müssen die zur Überwachung eingesetzten Messgeräte für die Messbereiche von  $0 - 45 \mu\text{g}/\text{m}^3$  und  $0 - 75 \mu\text{g}/\text{m}^3$  eignungsgeprüft und zertifiziert sein. Unter diese Richtlinie fallen für die kontinuierliche Quecksilbermessung neben Abfallverbrennungsanlagen auch zunehmend Zementanlagen und Kraftwerke, die z.B. Ersatzbrennstoffe einsetzen.

## 1. Übersicht der bisher eingesetzten Messverfahren für die kontinuierliche Quecksilbermessung

Die bisher eingesetzte Messtechnik folgt dem Schema extraktive Gasentnahme, Konvertierung, evtl. Amalgamierung und der eigentlichen Hg-Messung mittels CVAAS im UV-Wellenlängenbereich (Bild 1). Eine besondere Rolle spielt für die Quecksilbermessung die Messgasaufbereitung. Der Grund hierfür ist, dass mit den üblicherweise eingesetzten UV-Analysatoren mit Atomabsorptions-Spektroskopie nur die Detektion des metallischen Quecksilbers gelingt. Das Abgas enthält aber neben dem metallischen Quecksilber auch oxidierte Quecksilberverbindungen, hauptsächlich Quecksilberchloride ( $\text{HgCl}$ ,  $\text{HgCl}_2$ ). Diese lassen sich nicht direkt detektieren und müssen durch entsprechende Maßnahmen in der Messgasaufbereitung zum metallischen Quecksilber reduziert werden. Erst nach dieser Reduzierung ist eine Erfassung des Gesamtquecksilbers aus dem Abgas möglich.

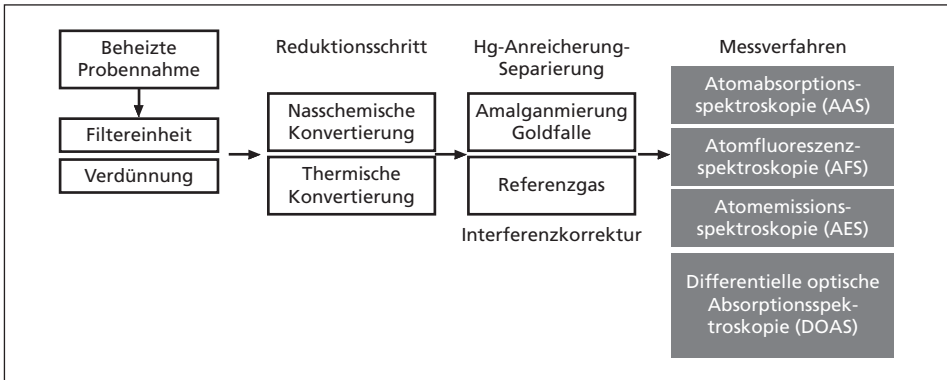


Bild 1: Bisherige Messverfahren für Gesamtquecksilber

Für die Reduzierung der Quecksilberchloride werden unterschiedliche Verfahren eingesetzt (Bild 2). Eines verwendet die klassische, nasschemische Reduzierung z.B. mit Zinnchlorid, wie sie auch im Labor für Referenzmessungen eingesetzt wird. Andere Verfahren, die sich in den vergangenen Jahren durchgesetzt haben, reduzieren das oxidierte Quecksilber bei unterschiedlichen Temperaturen mit der sogenannten Trockenkonvertierung. Hierzu werden Konverter in der Messgasaufbereitung verwendet, entweder bei niedrigen Temperaturen (etwa 250 °C) oder bei hohen Temperaturen (etwa 700 °C), um die oxidierten Quecksilberanteile in das messbare, metallische Quecksilber umzuwandeln. Die verwendeten Verfahren haben ihre Vor- und Nachteile und werden von den Betreibern hinsichtlich Bedienung, Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit sehr unterschiedlich eingestuft.

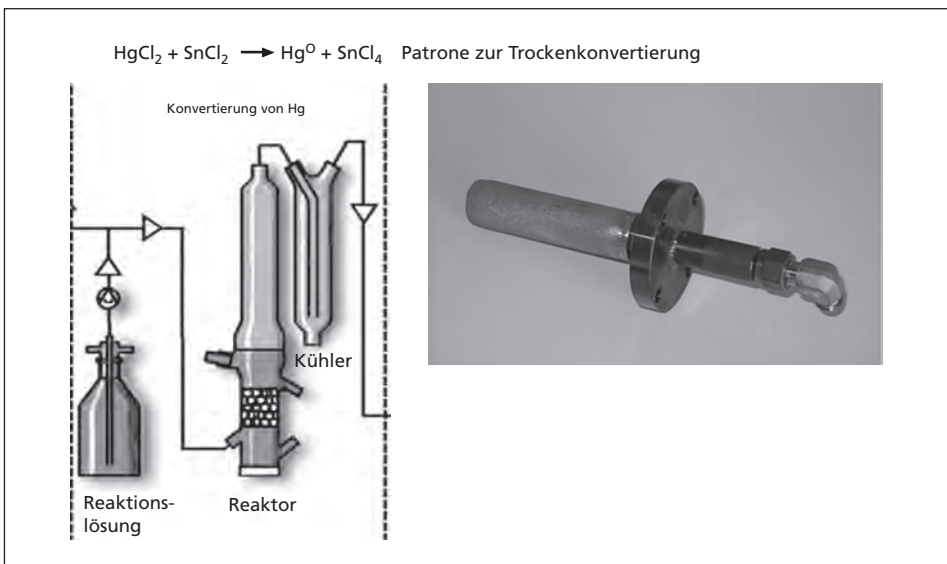


Bild 2: Konvertierung zu metallischem Hg (nasschemisch und trocken)

Ganz wichtig ist für die Gasentnahme auch eine durchgehende mindestens auf 180 °C beheizte Sonde mit Filter sowie einer beheizten Messgasleitung, um Kältebrücken zu vermeiden. Denn sobald sich in unbeheizten Anschlussstücken Kondensat absetzt, sind Quecksilberverluste in der Messung und Memoryeffekte nicht auszuschließen. Manche Gerätehersteller, hauptsächlich aus USA, bieten auch Verdünnungssonden für die Gasentnahme an. Hier müssen wegen der Messgasverdünnung allerdings noch empfindlichere Messverfahren, wie z.B. die Atomfluoreszenz, bei der Quecksilbermessung eingesetzt werden. In Deutschland und Europa kommen i.d.R. ein- oder zweistrahlige UV Fotometer in den Messsystemen zum Einsatz. Zur Vermeidung von Querempfindlichkeiten wird bei einigen Messsystemen vor der Messung ein Amalgamierungsschritt durchgeführt (Bild 3). Hier wird die Eigenschaft des metallischen Quecksilbers genutzt vollständig an Gold/Platin-Legierungen zu amalgamieren. Nach der Amalgamierung wird das in einem Quarzrohr eingesetzte Gold/Platinnetz auf über 700 °C erhitzt und das abdampfende Quecksilber mit Stickstoff in die eigentliche Messzelle des Analysators überführt (Bild 4). Die Vorteile dieser Hg-Abscheidung sind neben einer querempfindlichkeitsfreien Quecksilbermessung auch die mögliche Anreicherung von Quecksilber durch längere Beladungszeiten, um so noch kleinere Mengen bzw. Konzentrationen (z.B. <math>< 10 \mu\text{g}/\text{m}^3</math>) zu erfassen. Ein Nachteil dieses Amalgamierungsverfahren ist, dass nur noch *quasikontinuierlich* ein Quecksilberwert ausgegeben werden kann und damit die in der Eignungsprüfung nach EN15267-3 vorgeschriebene T-90 Zeit von <math>< 200 \text{ sec.}</math> nicht mehr einzuhalten ist.

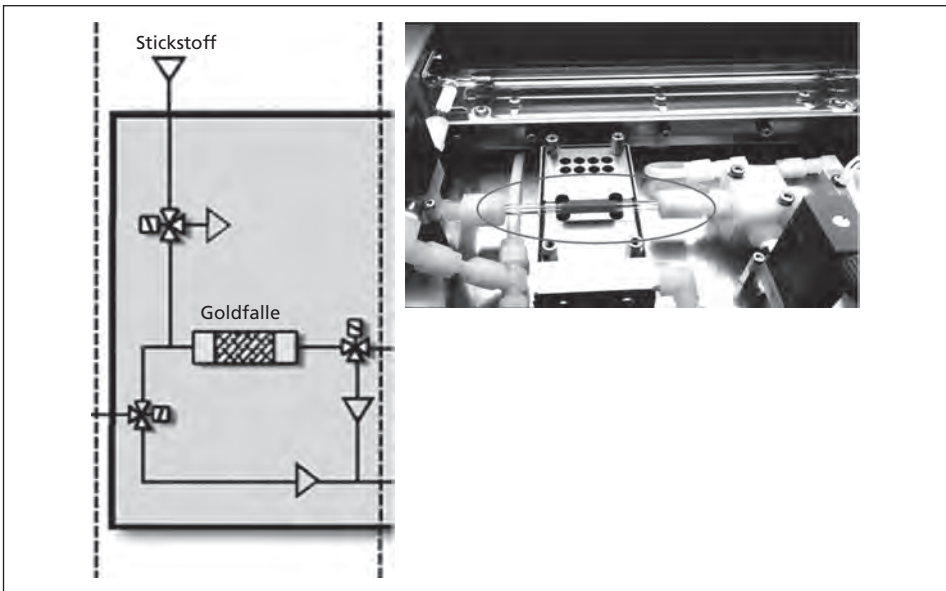


Bild 3: Amalgamierung von Quecksilber an einer Goldfalle

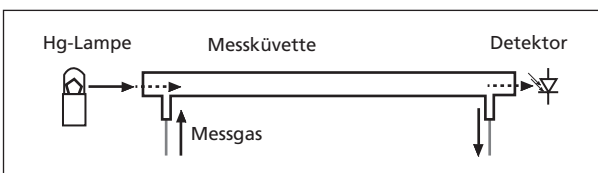


Bild 4:

Messprinzip ( Cold Vapour Atomic Absorption Spectroscopy, CVAAS)

Eine andere Messmethode für Quecksilber ist die Verwendung eines zweistrahligen UV-Fotometers. Hier wird das Messgas ohne Abtrennung von der Gasmatrix in den Analysator geleitet und nacheinander einer Mess- und einer Referenzgaszelle zugeführt. Am Eingang der Referenzzelle wird das Messgas durch ein jodiertes Kohlenstofffilter geführt, um metallisches Quecksilber abzufangen, so dass die Referenzzelle nur quecksilberfreies Gas enthält. Durch den Energievergleich des durch Quecksilber absorbierten Lichtes zwischen der Mess- und Referenzzelle wird die Absorption und damit die Quecksilberkonzentration bestimmt.

## 2. Messgerätevalidierung

Für die Überprüfung der Analysatoren müssen aufgrund der Komplexität verschiedene Dinge beachtet werden. Ein Quecksilberprüfgas steht nur als metallisches  $\text{Hg}^0$  Gas zur Verfügung. Darüber hinaus kann eine Quecksilber-Permeationskammer zur Erzeugung eines Quecksilberprüfgases verwendet werden. Ein Quecksilbertropfen wird hierbei in einer thermostatisierten Kammer eingeschlossen. Über die Quecksilber-Dampfdruckkurve wird in Abhängigkeit von der eingestellten Temperatur die genaue Quecksilbermenge in der Kammer bestimmt. Ein Stickstoffstrom führt dem Analysator entweder manuell oder in festgelegten Intervallen die laut Dampfdruckkurve ermittelte Quecksilbermenge zur Überprüfung des Analysators zu.

Immer mehr im Blickpunkt steht jedoch in den Messsystemen die vollständige und nachhaltige Umsetzung der oxidierten Quecksilberverbindungen zum metallischen Quecksilber. Prüfgase sind hier nicht erhältlich. Gasförmige Quecksilberverbindungen lassen sich nur durch Verdampfen einer  $\text{HgCl}_2$ -Lösung erzeugen. Solche Verdampfer sind bereits am Markt erhältlich und i.d.R. zur Erzeugung unterschiedlicher Kalibriergaskonzentrationen mit entsprechenden Massflow-Controllern zur genauen

Verdünnung mit Stickstoff ausgestattet (Bild 5). Über eine Kalibriergasaufgabe der oxidierten Quecksilberverbindungen an der Entnahmesonde, wie sie bereits in USA verpflichtend ist, kann nun auch die Umsetzung dieser Quecksilberverbindungen zum metallischen Quecksilber in den Messsystemen überprüft werden. Hierzu werden die beheizten Messgasleitungen mit zwei Innenseelen ausgestattet. Eine wird zum Messgastransport verwendet, die andere für die Zuführung des über einen Verdampfer erzeugten Kalibriergases. Auf diese Art und Weise lässt sich nicht nur der Analysator, sondern auch die Konvertierung des oxidierten Quecksilbers zum metallischen Quecksilber überprüfen.



Bild 5:  $\text{HgCl}_2$ -Prüfgasgenerator mit Verdampfer

Dies ist besonders wichtig, denn des Öfteren wird von Betreiberseite berichtet, dass bei Verwendung der Trockenkatalysatoren schon nach wenigen Wochen keine ausreichende Konvertierung der Quecksilberverbindungen zum metallischen Quecksilber mehr erfolgt. D.h. hier muss, mitunter in Intervallen von < 4 Wochen, die Füllung des Konverters ausgetauscht werden.

### 3. Zusammenfassung der bisherigen Messverfahren

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass alle kontinuierlich messenden Quecksilber-Messsysteme sehr viel wartungsintensiver sind, als die bekannten Gasmesssysteme. Hauptgrund ist der um drei Größenordnungen niedrigere Messbereich für Quecksilber. So beträgt beispielsweise der HCl-Grenzwert  $10 \text{ mg/m}^3$ , während Quecksilber einen Grenzwert von  $30 \text{ } \mu\text{g/m}^3$  hat und damit im unteren ppb (parts per billion) zuverlässig erfasst werden muss.

Schwierig ist darüber hinaus die sichere und zuverlässige Konvertierung zum metallischen Quecksilber in der Gasaufbereitung. Da sie bei fehlerhafter Funktion zu Minderbefunden des Gesamtquecksilbers führt und es noch keine verbindlichen Regeln zur Überprüfung der Konvertierungsstufe gibt, wird dies oft erst über Referenzmessungen durch die zugelassenen Institute nachgewiesen. Einzelne Staaten in den USA sehen bereits verpflichtend die Prüfgasaufgabe von oxidiertem Quecksilber wöchentlich vor, wenn täglich metallisches Quecksilber zur Überprüfung des Analysensystems über die Sonde aufgegeben wird.

### 4. Ein neues Messverfahren zur kontinuierlichen Quecksilbermessung

**Im Hinblick auf neue Messverfahren stellt sich deshalb die Frage wie ein optimales, neu zu entwickelndes Quecksilbermesssystem beschaffen sein sollte.**

Ein optimales Quecksilbermesssystem muss aufgrund der physikalischen und chemischen Gegebenheiten derzeit immer eine extraktive Gasentnahme haben. Es sollte eine sichere Konvertierung mit möglichst kleinen Wartungsaufwand ermöglichen und sollte auch nach Möglichkeit keine Kühlstufen haben. Das Messverfahren sollte querempfindlichkeitsfrei oder zumindest mit zuverlässigen Korrekturen von Querempfindlichkeiten das im Abgas enthaltene Gesamt-Quecksilber messen können und kurze Ansprechzeiten haben. Eine automatische Überprüfung der Messgenauigkeit, um die Zuverlässigkeit des Messsystems zu gewährleisten, sollte ebenso wenig fehlen.

Das neuentwickelte Quecksilber-Messsystem MERCEM300Z erfüllt diese vorgenannten Voraussetzungen (Bild 6). Erstmals kommt hier für eine kontinuierliche Quecksilbermessung das sogenannte Zeeman-AAS Verfahren (Bild 7) zum Einsatz, gekoppelt mit einer bei  $1.000^\circ\text{C}$  hochtemperierten Gasküvette (Bild 8). Alle im Messgas befindlichen Quecksilberverbindungen werden bei dieser Temperatur zum metallischen Quecksilber reduziert. Da keine Abkühlung stattfindet, sind Minderbefunde durch Rekombinationen von  $\text{Hg}^0$  zu oxidierten Quecksilberverbindungen (Oxide oder Chloride) ausgeschlossen.



Bild 6: Schrankansicht neues Zeeman-AAS Quecksilbermesssystem (außen und innen)

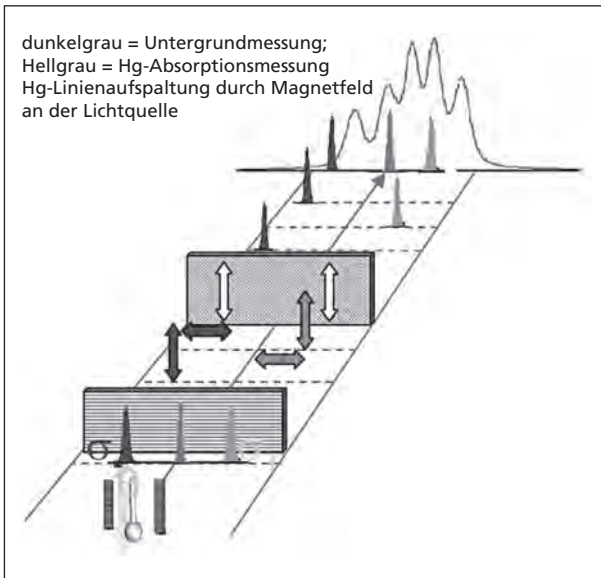


Bild 7:  
Zeeman-AAS Messprinzip

Die mittlerweile erfolgreich abgeschlossene Eignungsprüfung durch den TÜV zeigt darüber hinaus ein bis dahin nicht gekanntes schnelles Einlaufverhalten (T-90 Zeit) und hervorragende Linearitäten. Vergleichende Feldmessungen an Anlagen zur Abfallverbrennung und Zementproduktion, sowie an kohlegefeuerten Kraftwerken konnten



ebenfalls mittlerweile erfolgreich abgeschlossen werden. Querempfindlichkeiten, wie sie typischerweise durch  $\text{SO}_2$  und andere Gaskomponenten bekannt sind, treten bei diesem Verfahren nicht auf (Tabelle 1). Vergleichende Messungen an Anlagen mit bestehenden Quecksilber CEMS zeigen eine hervorragende Übereinstimmung, ebenso im Vergleich zu Referenzmessungen eines beauftragten gem. Messstelle § 26 zertifizierten Prüfinstituts. Optional können für die regelmäßige Qualitätskontrolle der Messungen automatisiert  $\text{HgCl}_2$ -Konzentrationen über eine integrierte Verdampferapparatur aufgegeben werden. Zur einfacheren Driftkontrolle ist auch die Möglichkeit eines einschwenkbaren internen Kalibrierfilters vorhanden. Eine Patentierung wurde hierfür eingereicht.

Bild 8:

Quarzmessgaszelle bei 1.000 °C zur Konvertierung und gleichzeitigen Echtzeitmessung (patentiert)

Störkomponente	Konzentration	QE auf die Hg-Messung
$\text{SO}_2$	1.000 $\text{mg}/\text{m}^3$	- 0,065 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
$\text{H}_2\text{O}$	30 Vol.-%	0,060 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
HCl	200 $\text{mg}/\text{m}^3$	keine QE
NO	300 $\text{mg}/\text{m}^3$	keine QE
$\text{NO}_2$	30 $\text{mg}/\text{m}^3$	0,090 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
$\text{O}_2$	21 Vol.-%	- 0,120 $\mu\text{m}^3$

Tabelle 1:

Querempfindlichkeitstabelle typischer Störkomponenten

Alle weiteren getesteten QE's <  $\pm 0,05 \mu\text{g}/\text{m}^3$

## 5. Zusammenfassung und Ausblick

Mit Einführung eines neuen zukünftigen Quecksilber-Jahresmittelwerts von  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  sind die Anforderungen an die Messgeräte nochmals gestiegen. Durch die Entwicklung des Zeeman-Messverfahrens mit direkter Messung in einer bei 1.000 °C beheizten Messgaszelle konnte dem Rechnung getragen werden. So ist es gelungen einerseits die erforderliche Nachweisempfindlichkeit zu steigern, als auch über längere Wartungsintervalle von bis zu 6 Monaten die Bedienung und den Wartungsaufwand zu minimieren.

Die am Markt erhältlichen Messsysteme zur kontinuierlichen Hg-Messung werden mittlerweile alle nach der EN 15267-3 von entsprechenden Prüfinstituten zertifiziert. Eine entsprechende Liste ist im Internet unter <http://qal1.de> abrufbar (s.a. Tabelle 2).

Zertifizierte Mess- und Auswerteeinrichtungen nach DIN EN 15267		
Hg		
Hersteller	Produkt	Komponenten
Mercury Instruments GmbH	SM-4	Hg
Opsis AB	AR 602 Z/Hg	Hg
SICK MAIHAK GmbH	MERCEM 300Z	Hg
VEREWA Umwelt- und Prozesstechnik GmbH	HM 1400 TRX	Hg

Tabelle 2:

Nach EN 15267-3 zertifizierte Hg-Messsysteme (Stand 10.08.2012)

Eine Zusammenstellung der wichtigsten Geräteeigenschaften, wie Messverfahren, Gasaufbereitung, Messbereiche, sowie Auszüge aus den offiziellen Hinweisen und Einschränkungen sind in den Tabellen 3 und 4 zusammengestellt.

Tabelle 3: Vergleich eignungsgeprüfter AMS (EN 15267-3) für die kontinuierliche Hg-Messung (Stand 18.09.2012)

Bezeichnung	Hersteller	Messprinzip	Umwandlung	Feldtests	
SM-4	Mercury Instruments	CVAAS	Verdünnung 1/50 kat. Reduktion Amalgamierung	SMVA Braunkohle	17. BlmschV 13. BlmschV
AR602 Z / Hg	OPSIS	UV – DOAS	kat. Reduktion	AVA	17. BlmschV
MERCEM300Z	SICK MAIHACK	Zeeman AAS	Reduktion bei 1.000 °C	AVA Steinkohle (Zement)	17. BlmschV 13. BlmschV
HM 1400 TRX	Verewa	2-Strahl UV CVAAS	kat. Reduktion Gaskühler	AVA	17. BlmschV

- SMVA: Sondermüllverbrennungsanlage
- AAS: Atomic Absorption Spectroscopy
- AVA: Abfallverbrennungsanlage
- DOAS: Differentielle, optische Absorptionsspektroskopie
- CVAAS: Cold Vapour Atomic Absorption Spectroscopy

Folgende Vorteile lassen sich für das neuentwickelte Zeeman-AAS Messsystem ableiten:

- kleinster geprüfter Messbereich 0 – 10 µg/m<sup>3</sup> mit einer Nachweisgrenze von 0,044 µg/m<sup>3</sup>
- Wartungsintervall sechs Monate lt. Eignungsprüfungsbericht
- Messsystem kann mit einer Heizschlauchlänge von 35 m betrieben werden



Tabelle 4: Fortsetzung Vergleich eignungsgeprüfter AMS (EN 15267-3) für die kontinuierliche Hg-Messung (Stand 18.09.2012)

Bezeichnung	Hersteller	Messbereiche, NWG $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Wartungs- intervall Monate	Ein- schränkungen	Hinweise
SM-4	Mercury Instruments	0 bis 45/100 < 0,01	3	Einstellzeit wurde nicht erfüllt	15 m Messgasleitung
AR602 Z / Hg	OP SIS	0 bis 45/100 k. A.	2	Einstellzeit wurde nicht erfüllt SO <sub>2</sub> QE mitmessen, etc.	10 m Messgasleitung
MERCEM300Z	SICK MAIHACK	0 bis 10/45 < 0,05 0 bis 100/1.000	6*	keine	35 m Messgasleitung
HM 1400 TRX	Verewa	0 bis 45/75 < 1,0	1	keine	0 m Messgasleitung

NWG: Nachweisgrenze in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  lt. Hersteller bzw. TÜV-Bericht \* für den Messbereich 0 bis 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  beträgt das Wartungsintervall 3 Monate!

- direkte Konvertierung mit gleichzeitiger Messung in einer 1.000 °C heißen Messzelle
- Zertifizierung entsprechend EN 15267-3
- Gasentnahme mit Ejektor statt beh. Membranvakuumpumpe (quasi wartungsfrei)
- keine Verbrauchsmittel wie Konverterstoffe oder Lösungen zur Konvertierung
- keine zusätzliche Amalgamierung, sondern kontinuierliche Echtzeitmessung
- Driftüberprüfung des Analysators ohne Prüfgas mit interner Filterkontrolle
- keine festgestellten Querempfindlichkeiten zu typischen Begleitkomponenten im Abgas
- applikationssicherer Einsatz an allen MVA's, Zementwerken und Kraftwerken
- optional automatisierte HgCl<sub>2</sub> Prüfgasaufgabe in frei vorprogrammierbaren Intervallen und Quecksilberkonzentrationen über die Gasentnahmesonde.

Die komplette Eignungsprüfung mit Labor- und Feldtests wurde durch den TÜV an verschiedenen Anlagentypen nach 13. u.17. BImSchV. erfolgreich abgeschlossen. Ein vorläufiges QAL-1 Zertifikat liegt vor (s.a. im Internet unter <http://qal1.de/>). Die Veröffentlichung im Bundesanzeiger wird demnächst erfolgen.

Mit dem neuen Quecksilbermesssystem wird die Produktpalette in der Emissionsmesstechnik bei SICK komplettiert. Alle vom Gesetzgeber für die kontinuierliche Emissionsmessung geforderten Schadstoffkomponenten und erforderlichen Parameter wie z.B. Feuchte, Sauerstoff, Druck, Temperatur und Durchfluss werden ebenfalls aus einem eigenen Produktportfolio angeboten (Bild 9).

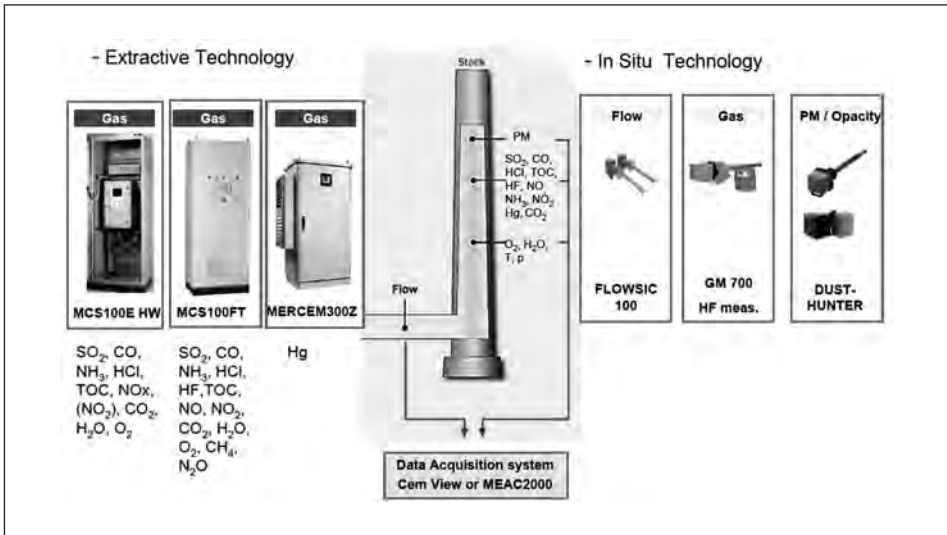


Bild 9: Übersicht eines kompletten Produktportfolios für Emissionsmessungen an 17. BImSchV-Anlagen

## 6. Quellen

- [1] Braun, H.; Metzger, M.; Vogg, H.: Zur Problematik der Quecksilberabscheidung aus Rauchgasen von Müllverbrennungsanlagen, Müll und Abfall 2/86, 1989, S. 89-95
- [2] Commission of the European Communities: Communication from the Commission to the Council and the European Parliament, *Community Strategy Concerning Mercury*. COM (2005) final, Brussels, 28. Jan. 2005
- [3] Dreizehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Großfeuerungs- und Gasturbinenanlagen – 13. BImSchV)
- [4] Emissionen aus stationären Quellen. Qualitätssicherung für automatische Messeinrichtungen; Deutsche Fassung EN 14181: 2004
- [5] European Communities: Directive 2000/76/EC of the European Parliament and of the Council of 4 December 2000 on the Incineration of Waste. Official Journal of the European Communities, L332/91, (28. Dezember 2000)
- [6] European Communities: Directive 2001/80/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2001 on the limitation of emissions of certain pollutants into the air from large combustion plants. Official Journal of the European Communities, L309/1, (27. November 2001)
- [7] Gutberlet, H. et al.: Behavior of Mercury in Air Pollution Control Devices on Coal-Fired Utility Boilers, Reaction Engineering International, Salt Lake City, Utah 84101, prepared for Power Production in the 21st Century: Impacts of Fuel Quality and Operations, Engineering Foundation Conference, Snowbird, UT, October 28-November 2, 2001, Online-Ausgabe: <http://www.reaction-eng.com/downloads/mercury.pdf>
- [8] RICHTLINIE 2000/76/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 4. Dezember 2000 über die Verbrennung von Abfällen

- [9] RICHTLINIE 2001/80/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTES UND DES RATES vom 23. Oktober 2001 zur Begrenzung von Schadstoffemissionen von Großfeuerungsanlagen in die Luft
- [10] Siebzehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über die Verbrennung und die Mitverbrennung von Abfällen – 17. BImSchV)
- [11] Umweltlexikon: Quecksilber, Online-Ausgabe: © Copyright 1995 – 2011, <http://www.umwelt-datenbank.de/lexikon/quecksilber.htm>
- [12] US Food and Drug Administration: Mercury Levels in Commercial Fish and Shellfish (1990 – 2010). Online-Ausgabe: <http://www.fda.gov/food/foodsafety/product-specificinformation/seafood/foodbornepathogenscontaminants/methylmercury/ucm115644.htm>
- [13] Wikipedia: Die freie Enzyklopädie, Zeeman Effekt, <http://de.wikipedia.org/wiki/Zeeman-Effekt>
- [14] Welz, B.; Sperling, M.: Atomic Absorption Spectrometry, Third Completely Revised Edition, Wiley-VCH Verlag Weinheim, 1999
- [15] Ganeyev, A.A.; Sholupov, S.E. (1992 October) New Zeeman atomic absorption spectroscopy, approach for mercury isotope analysis. Spectrochimica Acta Part B Atomic Spectroscopy: 47 (11), 1325-1338. Elsevier.
- [16] Zertifizierung von automatischen Messeinrichtungen – Teil 3: Mindestanforderungen und Prüfprozeduren für automatische Messeinrichtungen zur Überwachung von Emissionen aus stationären. Quellen; Deutsche Fassung EN 15267-3:2007
- [17] Internetadressen: [http://www.sick-maihak.de/sickmaihak\\_de/products/categories/gasanalysis/mercem/de.html](http://www.sick-maihak.de/sickmaihak_de/products/categories/gasanalysis/mercem/de.html); <http://www.qal1.de/de/systeme.htm>; <http://www.umweltbundesamt.de/luft/messeinrichtungen/kontemi.htm>

