
BGI 505.54 (bisher ZH 1/120.54)

Verfahren zur Bestimmung von Cadmium

Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften

Fachausschuß "Chemie"

November 1994

Erprobtes und von den Berufsgenossenschaften anerkanntes, diskontinuierliches Verfahren zur Bestimmung von Cadmium und Cadmiumverbindungen in Arbeitsbereichen.

Es sind personenbezogene oder ortsfeste Probenahmen für Messungen zur Beurteilung von Arbeitsbereichen möglich:

Probenahme mit Pumpe und Abscheidung auf einem Partikelfilter, Atomabsorptionsspektrometrie mit Flammen- und Graphitrohrofentechnik nach Säureaufschluß

„Cadmium – 1 – AAS“

(Ausgabe November 1994).

Für die Bestimmung von Cadmiumchlorid siehe auch Verfahren ZH 1/120.14.

IUPAC-Name:

CAS-Nr.: 7440-43-9

Probenahme mit Pumpe und Abscheidung auf einem Partikelfilter, Atomabsorptionsspektrometrie mit Flammen- und Graphitrohrofentechnik nach Säureaufschluß

Kurzfassung

Mit diesem Verfahren wird die über die Probenahmedauer gemittelte Konzentration von Cadmium und Cadmiumverbindungen im Arbeitsbereich personenbezogen oder ortsfest bestimmt.

Meßprinzip: Mit Hilfe einer Pumpe wird ein definiertes Luftvolumen durch ein Filter gesaugt. Das im abgeschiedenen Aerosol enthaltene Cadmium wird nach Säureaufschluß atomabsorptionsspektrometrisch bestimmt.

Technische Daten

Relative Bestimmungsgrenze für Celluloseester-Membranfilter:

Probevolumen (m ³)	Extraktionsvolumen (ml)	Filterdurchmesser (cm)	Bestimmungsgrenze in der Probeluft (µg/m ³)	niedrigste bestimmbare Konzentration (Meßlösung) (µg/l)	Methode
0,42 ¹	20	3,7	0,10	2,1	GFAAS ²
45 ³	75	15	0,17	100	FAAS ⁴

¹ personenbezogene Probenahme, z.B. Personengetragenes Probenahmesystem (PGP) nach BIA, mit geeigneter Pumpe [1]

² GFAAS = Graphitrohrofen-AAS

³ ortsfeste Probenahme, z.B. VC25G [2, 3]

⁴ FAAS = Flammen-AAS

Selektivität:	Selektive Messungen sind mit beiden Techniken möglich. Die Selektivität ist jedoch in jedem Einzelfall zu prüfen. Störungen können insbesondere durch hohe Silicium-Gehalte (AAS-Flammentechnik) und hohe Chlorid-Gehalte (AAS-Graphitrohr-ofentechnik) auftreten.
Vorteile:	Mit der Graphitrohrfentechnik steht eine sehr empfindliche Methode zur Verfügung.
Nachteile:	Sehr hoher Zeitaufwand; erheblicher apparativer Aufwand.
Apparativer Aufwand:	Probenahmeeinrichtung, bestehend aus Probenahmekopf mit Partikelfilter, Pumpe mit Gasmengenzähler oder mit Volumenstromanzeiger/Zeitmesser. Atomabsorptionsspektrometer mit Untergrundkompensation, Ausrüstung für die Flammentechnik, Graphitrohrföfen mit Umlaufkühlung und automatischem Probenwechsler.

Ausführliche Verfahrensbeschreibung

1 Geräte, Chemikalien und Lösungen

Alle Chemikalien, Lösungen und Gefäße müssen auf Cadmium-Blindwerte und ihre Streuungen getestet worden sein. Die Ergebnisse führen gegebenenfalls zu einer Erhöhung der Bestimmungsgrenze (siehe Abschnitt 6.3 "Leerwert").

1.1 Geräte

Für die Probenahme:

Geeignet sind Probenahmegeräte, die Aerosole mit einer Ansauggeschwindigkeit von 1,25 m/s \pm 10 % erfassen und die den hinsichtlich ihrer Erfassungscharakteristik vorgegebenen Empfehlungen entsprechen [1], [2], [3], z.B. PGP nach BIA von der Firma Ströhlein GmbH, Kaarst, mit geeigneter Pumpe.

Es sind Pumpen einzusetzen, deren Förderleistung hinreichend unabhängig vom Druckabfall am Filter ist, z.B. Du Pont Alpha 1 von der Firma DEHA-Haan & Wittmer GmbH, Friolzheim; GSA 5002 Ex von der Firma GSA, Neuss; Gillian PP5, Du Pont P 4000 AA und VC 25 G von der Firma Ströhlein GmbH, Kaarst.

Celluloseester-Membranfilter, Porengröße 0,8 μ m – 1,2 μ m; geeignete Filtermaterialien lassen sich beziehen über die Firma Sartorius, Göttingen, und Nuclepore, Tübingen.

Filter dürfen gegenüber dem Testaerosol Paraffinölnebel einen Durchlaßgrad von höchstens 0,5 % haben [4], [5], [6].

Für die Probenaufbereitung und analytische Bestimmung:

- Aluminium-Heizblockthermostaten mit Bohrungen für Aufschlußgefäße,
- graduierte Aufschlußzylinder (Genauigkeitsklasse A oder B) aus Glas mit Normminenschliff, Siedestäben (z.B. Glasstab, dessen Spitze mit PTFE⁵-Schlauchstück versehen ist) und Luftkühlern (Länge ca. 40 cm). Der Blindwert muß vor jeder erneuten Verwendung gesondert überprüft werden.
- Keramik-Pinzette,
- Einmalfilterhalter (PTFE-Membran),

⁵ Polytetrafluorethylen.

- für Filter Ø 3,7 cm: 25 ml Aufschlußzylinder,
0,2-ml-Teilung, NS 19/26,
- für Filter Ø 15 cm: 100 ml Aufschlußzylinder,
1-ml-Teilung, NS 29/32,
- Meßkolben aus PTFE bzw. Polypropylen, für Standard- und Kalibrierlösungen, 50 ml, 100 ml,
- Atomabsorptionsspektrometer mit Untergrundkompensator, Ausrüstung für die Flammentechnik und Graphitrohrentechnik Probenwechsler für die Graphitrohrtechnik/Graphitrohre mit Plattform/Cadmium-Hohlkathodenlampe/Rechner für Steuerung, Registrierung und Kalibrierung, für die Graphitrohrentechnik mit Signalanzeige über Bildschirm/Drucker.

1.2 Chemikalien und Lösungen

Für den Säureaufschluß beaufschlagter Filter und die nachfolgende Messung werden folgende Chemikalien benötigt:

- Salzsäure, 25 %, p.a., z.B. Firma Merck, Darmstadt,
- Salpetersäure, ≥ 65 % p.a. z.B. Firma Merck, Darmstadt,
- Reinstwasser elektr. Leitfähigkeit:
≤ 6 µS · m⁻¹ bei 250 °C,
- Aufschlußgemisch: 2 Vol.-Teile Salpetersäure und
1 Vol.-Teil Salzsäure,
- verdünntes Aufschlußgemisch: 1 Vol.-Teil Reinstwasser und
1 Vol.-Teil Aufschlußgemisch,
- Standardlösungen: siehe Tabelle 1

Tabelle 1: Standardlösungen

Nr.	Bezeichnung	Cd-Konzentration	Matrix	Kationenanzahl	Hersteller
1	Cadmium ICP-Standardlösung	1000 mg/l	Salpetersäure (0,8 mol/l)	1	Johnson Matthey Alfa Products Karlsruhe
2	ICP-Mehrelementstandardlösung I	20 mg/kg ≈ 20,6 mg/l	Salpetersäure (1 mol/l)	19	Merck Darmstadt

- Cadmium-Kalibrierlösungen

Die Kalibrierlösungen wurden hergestellt, indem bekannte Massen aus Cadmium-Standardlösungen entnommen und gemäß folgender Tabellen 2 und 3 in 100-ml- bzw. 50-ml-Meßkolben mit dem verdünnten Aufschlußgemisch aufgefüllt werden.

Tabelle 2: Cadmium-Kalibrierlösungen Nr. 1 bis 5

hergestellt aus						
Kalibrier- lösung Nr.	Standard- lösung Nr.	Kalibrier- lösung Nr.	Konzentration (mg/l)	Teilvol. (ml)	Endvol. (ml)	Endkonzentration (mg/l)
1	1	–	1000	1	100	10,00
2	2	–	20,6	5	50	2,06
3	–	1	10,00	5	50	1,00
4	–	2	2,06	5	50	0,21
5	–	3	1,00	5	50	0,10

Tabelle 3: Cadmium-Kalibrierlösungen Nr. 6 bis 11

hergestellt aus						
Kalibrier- lösung Nr.	Standard- lösung Nr.	Kalibrier- lösung Nr.	Konzentration (µg/l)	Teilvol. (ml)	Endvol. (ml)	Endkonzentration (µg/l)
6	–	5	100	1,5	100	1,50
7	–	5	100	1	100	1,00
8	–	6	1,50	25	50	0,75
9	–	7	1,00	25	50	0,50
10	–	4	210	1	100	2,10
11	–	10	2,10	5	50	0,21

- Matrixmodifizier für Graphitrohrofentechnik Ammoniumdihydrogenphosphat, c (NH₄H₂PO₄) = 20 g/l, herzustellen z.B. aus "Suprapur"-Lösungen der Firma Merck, Darmstadt [7], [8], [10], [11].
- Gase
 Flammentechnik: Luft/Acetylen (Schweißqualität),
 Graphitrohrofentechnik: Argon 4.6 (Reinheit 99,996).

2 Probenahme

Mit Hilfe einer Pumpe wird ein definiertes Luftvolumen durch ein Partikelfilter gesaugt, welches sich in einem speziellen Sammelkopf befindet (siehe Abschnitt 1.1): ortsfeste Probenahme, z.B. VC 25 G, Luftvolumenstrom 22,5 m³/h bei 2 h Probenahmezeit; personenbezogene Probenahme, z.B. PGP mit Du Pont P 4000 AA, Luftvolumenstrom 210 l/h bei 2 h Probenahmezeit.

Besteht die Gefahr der Überladung eines Filters durch zu hohe Aerosolkonzentrationen, wird nach TRGS 402/3.4 vorgeschlagen, die Probenahmedauer bei entsprechender Erhöhung der Probenanzahl zu verringern [9].

3 Analytische Bestimmung

3.1 Probenaufbereitung

Das beaufschlagte Filter wird mit Hilfe einer Keramik-Pinzette und eines Siedestabes in den Aufschlußzylinder überführt und mit dem Aufschlußgemisch versetzt.

3,7-cm-Filter werden mit 10 ml, 15-cm-Filter mit 40 ml-Aufschlußgemisch überschichtet. Die Aufschlußzylinder (25 ml bzw. 100 ml) werden mit Luftkühlern versehen und im Aluminium-Heizblock-Thermostaten zwei Stunden unter Rückfluß (ca. 125 °C Block-Temperatur) gehalten. Danach werden über die Rückflußkühler vorsichtig 10 bzw. 35 ml dest. Wasser hinzugefügt. Nach Abkühlen und Sedimentation wird das Volumen der Aufschlußlösung (Probelösung) abgelesen. Um Resorptionseffekte gering zu halten, erfolgt die atomabsorptionsspektrometrische Bestimmung unmittelbar nach der Sedimentation. Bei stabilen Suspensionen werden Teilvolumina vor der analytischen Bestimmung filtriert.

Für die Leerwertbestimmung werden nicht beaufschlagte Filter dem Analysengang unterworfen.

3.2 Instrumentelle Arbeitsbedingungen

Die in Abschnitt 5 angegebenen Verfahrenskenngrößen wurden unter folgenden Gerätebedingungen ermittelt:

Geräte: Firma Perkin Elmer (Überlingen)

- AAS PE 5000 mit Deuterium-Untergrundkompensator (für die Flammentechnik),
- AAS PE 1100 B mit Deuterium-Untergrundkompensator (für die Graphitrohrofentechnik),
- automatischer Probengeber AS 70,
- Graphitrohrofen HGA 700.

Die Probelösung wird zuerst mit Hilfe der Flammentechnik analysiert. Liefert die Flammentechnik kein Ergebnis oberhalb der Bestimmungsgrenze, sind Nachmessungen mittels Graphitrohrofentechnik zweckmäßig.

3.2.1 Flammentechnik

Acetylen-/Luft-Flamme, oxidierend; Auswertung nach dem Kalibrierkurvenverfahren.

Tabelle 4

Meßbereich (µg/l)	Wellenlänge (nm)	spektrale Spaltbreite (nm)	Lampenstrom (mA)
100-2060	228,8	0,7	4

Höhere Konzentrationen werden nach geeigneten Verdünnungsschritten gemessen (zu berücksichtigen bei der Berechnung in Abschnitt 4.2).

3.2.2 Graphitrohrfentechnik

Inertgas: Argon; Messung mit Matrixmodifizier (siehe Abschnitt 1.2) und Auswertung nach dem Additionsverfahren.

Tabelle 5

Meßbereich (µg/l)	Wellenlänge (nm)	spektrale Spaltbreite (nm)	Lampenstrom (mA)
0,21-1,50	228,8	0,7	3

Vorverdünnung der Probenlösung 1:10 (siehe Abschnitt 5.3). Höhere Konzentrationen werden nach weiteren geeigneten Verdünnungsschritten gemessen (zu berücksichtigen bei der Berechnung in Abschnitt 4.2).

Pipettierprotokoll für das Additionsverfahren:

Folgende Meßlösungen aus verdünnter Probelösung und Kalibrierlösung werden entsprechend der folgenden Tabelle hergestellt:

Tabelle 6

Meßlösung Nr.	Volumen der 1:10 verdünnten Probelösung (µl)	Volumen Kalibrier- lösung aus Tab. 3 (µl)	Volumen Reinst- Wasser (µl)	Konzentration der Kalibrier- lösung aus Tab. 3 (µg/l)
0	0	0	1 000	0,00
1	500	0	500	0,00
2	500	500 (Nr. 6)	0	1,50 (Nr. 6)
3	500	500 (Nr. 8)	0	0,75 (Nr. 8)
4	500	500 (Nr.11)	0	0,21 (Nr. 11)

Zuerst werden 10 µl Matrixmodifizier in das Graphitrohr eindosiert und mittels der Programmschritte eins und zwei des nachfolgenden Temperatur-/Zeit-Programms getrocknet, dann werden 20 µl der Lösung eindosiert und den Programmschritten 3 bis 9 unterworfen und vermessen.

Temperatur-/Zeit-Programm

Tabelle 7

Programmschritt:	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ofentemperatur (°C)	90	130	90	130	350	500	500	1900	2650
Aufheizzeit (s)	–	10	–	10	10	10	1	0	1
Haltezeit (s)	–	20	–	20	20	10	5	5	5
Int. Argonstrom (ml/min)	3	300	300	300	300	300	40	40	300

- 1 – Pipettierung/Matrixmodifizier, 5, 6, 7 – thermische Vorbehandlung,
 2 – Trocknung, 8 – Atomisierung/Messung,
 3 – Pipettierung/Meßlösung, 9 – Ausheizen
 4 – Trocknung,

4 Auswertung

4.1 Kalibrierung

Die Kalibrierung des Atomabsorptionsspektrometers kann mit Hilfe verschiedener Verfahren erfolgen.

Für die Flammentechnik ist das Kalibrierkurvenverfahren geeignet. Dabei werden die Extinktionen der Meßlösung direkt mit den Extinktionen aus der Kalibrierkurve verglichen.

Bei der Graphitrohrentechnik empfiehlt es sich, mit dem Additionsverfahren zu arbeiten. Dabei wird mit Lösungen kalibriert, die durch Zugabe abgestufter Konzentrationen zu aliquoten Anteilen der 1:10 verdünnten Probelösung erhalten werden. Die Auswertung erfolgt dann durch Extrapolation der Bezugsfunktion bis zu einer Extinktion von Null. Die Ermittlung von Bezugsfunktion und Meßwert übernimmt der geräteinterne Rechner. Die Berechnungen erfolgen auf Basis der Signalfächen.

4.2 Berechnen des Analyseergebnisses

Die Berechnung der Massenkonzentration von Cadmium in der Probeluft in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ erfolgt nach den Formeln:

$$m = (c_1 \cdot V_1) - m_1 \quad (1)$$

$$c_m = \frac{m}{V} \quad (2)$$

Es bedeuten:

m = leerwertkorrigierte Cadmiummasse aus der Probelösung in μg ,

c_1 = Cadmiumkonzentration der Probelösung in $\mu\text{g}/\text{l}$,

V_1 = Volumen der Probelösung in l,

m_1 = Leerwert in μg , als Cadmium berechnet,

c_m = Massenkonzentration von Cadmium in der Probeluft in $\mu\text{g}/\text{m}^3$,

V = Probeluftvolumen in m^3 .

5 Beurteilung des Verfahrens

5.1 Genauigkeit

Für jeweils $n = 8$ Bestimmungen bei drei verschiedenen Konzentrationen wurden folgende Daten erhalten:

Tabelle 8

Meßmethode	Meßbereich ($\mu\text{g}/\text{l}$)	Konzentration der Kalibrierlösung ($\mu\text{g}/\text{l}$)	relative Standard- abweichung %
FAAS	100-2060	210; 1000; 2060	4,9; 2,8; 2,0
GFAAS	0,21 - 1,50	0,50; 0,75; 1,00	6,8; 4,5; 3,4

5.2 Bestimmungsgrenze

Die relativen Bestimmungsgrenzen wurden aus der zehnfachen Leerwertstreuung der eingesetzten Celluloseester-Membranfilter, Reagenzien und Gefäße wie folgt ermittelt (je 8 Filter aus 2 Produktionschargen):

Tabelle 9

		GFAAS	FAAS
Filterdurchmesser	(cm)	3,7	15
Probeluftvolumen	(m ³)	0,42 ⁶	45 ⁷
Volumen der Probelösung	(ml)	20	75
Bestimmungsgrenze in der Probelösung	(µg/l)	2,1 ⁸	100
Bestimmungsgrenze in der Probeluft	(µg/m ³)	0,10	0,17

5.3 Selektivität

Selektive Messungen sind mit beiden Techniken möglich.

Die Selektivität ist jedoch im Einzelfall zu prüfen. Störungen sind möglich, insbesondere durch hohe Siliciumgehalte. Hohe Salzsäurekonzentrationen stören in der Graphitrohrtechnik vermutlich durch Bildung flüchtiger Cadmiumchlorid-Verbindungen. Vorverdünnung der Probelösung und sorgfältige Ermittlung der maximalen thermischen Vorbehandlungstemperatur sind daher notwendig. Die Gegenwart von Arsen kann zu spektralen Interferenzen führen.

5.4 Wiederfindungsrate

Wegen der unterschiedlichen chemischen Zusammensetzung und den unterschiedlichen physikalischen Eigenschaften der Aerosole in verschiedenen Arbeitsbereichen ist keine allgemeingültige Angabe über Wiederfindungsraten des Gesamtverfahrens möglich.

Eine Aussage ist möglich für die Probenaufbereitung und die Messung. Die Celluloseester-Membranfilter werden mit definierten Volumina von Kalibrierlösungen dotiert und dem Aufschluß- und Analysenverfahren unterworfen.

Für jeweils n = 8 Bestimmungen wurden folgende Werte erhalten:

Tabelle 10

Meßmethode	Filter- durchmesser (cm)	dotierte Cadmiummasse (µg)	Wiederfindung (%)
FAAS	15	75	102
GFAAS	3,7	0,015	96

⁶ Bei personenbezogener Probenahme (z.B. mit PGP und geeigneter Pumpe)

⁷ Bei ortsfester Probenahme (z.B. mit VC 25G)

⁸ Die Bestimmungsgrenze betrug für die 1:10 verdünnte Probelösung 0,21 µg/l (vergleiche Abschnitt 5.3).

6 Bemerkungen

6.1 Graphitrohrentechnik

Der Matrixmodifizier Ammoniumbiphosphat führt zu einer Umwandlung der leichtflüchtigen Cadmiumverbindungen in schwerer flüchtiges Phosphat und damit zu höheren Vorbehandlungs- und Atomisierungs-Temperaturen. Die Anwesenheit von Ammonium Ionen trägt zusammen mit der gleichzeitig vorhandenen Salpetersäure dazu bei, den störenden Chloridanteil als flüchtige Komponenten (Ammoniumchlorid bzw. Salzsäure) bei der thermischen Vorbehandlung zu entfernen.

Das überschüssige Phosphat führt in der Regel zu einem Untergrundsignal, welches durch die Deuterium-Untergrundkorrektur nicht mehr hinreichend genau korrigiert werden kann, wenn Meß- und Untergrundsignal zeitgleich auftreten. Die ausreichende Verringerung dieser Störung kann durch den Einsatz von Graphitrohren mit Plattform, einer Aufheizrate von größer als 2000 °C/Sekunde und einer Atomisierungstemperatur von 1900 °C erreicht werden. Eine geräteabhängige Programmprüfung ist erforderlich. Zur weiteren Verringerung dieser Störung wird der Einsatz der Zeeman-Untergrundkorrektur empfohlen [12].

6.2 Aufschlußverfahren

Die unter Abschnitt 3.1 beschriebenen Bedingungen für den Aufschluß sind so gewählt, daß Cadmium und üblicherweise am Arbeitsplatz vorkommende Cadmiumverbindungen erfaßt werden. Die Aufarbeitung ist somit geeignet für die meisten industriell eingesetzten Cadmiumverbindungen, wie z.B. Cadmium (Metall), Cadmiumchlorid, Cadmiumiodid, Cadmiumnitrat, Cadmiumoxid, Cadmiumsulfid, Cadmiumstearat und Cadmiumsulfat [13].

Im Zweifelsfall sollten Löslichkeitsuntersuchungen der eingesetzten Materialien des Arbeitsbereiches erfolgen [12].

6.3 Leerwert

Die Bestimmungsgrenze ist unter anderem abhängig von der Leerwertstreuung des eingesetzten Filtermaterials.

Sollen andere Filtermaterialien eingesetzt werden, z.B. Tiefenfilter aus Glasfaser, Quarzfaser, sind folgende Randbedingungen zu beachten:

Säurelösliche Anteile können insbesondere bei Verwendung von Glasfaserfiltern zu stark schwankenden Leerwerten und Querempfindlichkeiten führen (z.B. durch hohen löslichen Silikatanteil). Sowohl bei Glas als auch bei Quarzfaserfiltern können gerade bei geringen Cadmium-Konzentrationen Fehler durch Resorptions-Effekte beim Aufschluß entstehen. Auch bei Membranfiltern aus Celluloseestern müssen diese Effekte berücksichtigt werden, die im wesentlichen auf die unterschiedlichen natürlichen oder anthropogenen Schwermetallbelastungen des verarbeiteten Cellulosegrundstoffes zurückzuführen sind.

Der Cadmium-Leerwert (vgl. Abschnitt 3.1) ist hier zu verstehen als Mittelwert der Messungen mehrerer Celluloseestermembranfilter unterschiedlicher Produktionschargen, die einzeln der gesamten Probeaufbereitung und analytischen Bestimmung unterzogen werden: hier gehen Leerwerte und Leerwertstreuungen ein aus den Filtermaterialien, den Reagenzien und den eingesetzten Gefäßen.

7 Literatur

- [1] Siekmann, H.; Blome, H.; Heisig, W.:
Probenahmesysteme, Spezielle Anforderungen und Entwicklungstendenzen.
Staub-Reinhalt. Luft 48 (1988) Nr. 3, S. 89–94;
- [2] Coenen, W.: Feinstaubmessungen mit den VC 25.
Staub-Reinhalt. Luft 35 (1975) Nr. 12, S. 452–458;
- [3] Coenen, W.: Beschreibung der Erfassungs- und Durchgangsfunktion von Partikeln
bei der Atmung – meßtechnische Realisierung.
Staub-Reinhalt. Luft 41 (1981) Nr. 12, S. 472-479;
- [4] Messung von Gefahrstoffen – BIA-Arbeitsmappe.
Erich Schmidt Verlag, Bielefeld (Loseblatt-Ausgabe, Grundwerk 1989);
- [5] VDI-Richtlinie 2265:
Feststellung der Staubsituation am Arbeitsplatz zur gewerbehygienischen
Beurteilung;
- [6] Siekmann, H.; Schwaß, D.: Pumpen zur personenbezogenen Probenahme von
Gefahrstoffen am Arbeitsplatz.
BIA-Handbuch.
Erich Schmidt Verlag, Bielefeld (Loseblatt-Ausgabe, Grundwerk 1985);
- [7] Welz, B. (Hrsg.):
CAS 4. Colloquium.
Atom-spektrometrische Spurenanalytik.
Bodenseewerk Perkin Elmer, Überlingen (1987), S. 543-555;
- [8] Sansoni, B. (Hrsg.):
Instrumentelle Multielementanalyse.
VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim (1985), S. 411-415.
- [9] Technische Regel für Gefahrstoffe – TRGS 402:
Ermittlung und Beurteilung der Konzentrationen gefährlicher Stoffe in der Luft in
Arbeitsbereichen.
Bundesarbeitsblatt Heft 11 (1986), S. 92-96;
- [10] Völlkopf, U. et al: Wege zur interferenzfreien Bestimmung von Spurenelementen in
Abwässern mit Graphitrohröfen – AAS.
GIT Fachz. Lab. 26 (1982), S. 444-453.
- [11] Völlkopf, U. et al: Einsatz der L'vov-Plattform in Graphitrohr-AAS zur Bestimmung
von Blei und Cadmium in verschiedenen biologischen Proben;
Angewandte Atom-Spektroskopie, Heft 26 (1980), S. 2-24.
- [12] ISO/CD 11174:
Proposed Committee Draft, June 1993.
Workplace Air – Determination of particulate cadmium and cadmium compounds –
Flame and electrothermal atomic absorption spectrometric method;
- [13] Falbe, H. (Hrsg.):
Chemie Lexikon/Römpp Bd. 1, S. 542-549, 9. Aufl., Thieme, Stuttgart (1989).