



Herausforderung

Zuverlässige und kostengünstige Schwermetallanalytik in matrixreichen Klärschlämmen und Böden.

Lösung

Automatisierte Elementanalytik mit dem ZEEnit 700P mittels Flammen- und Graphitrohrtechnik mit einer idealen Abdeckung des notwendigen Konzentrationsbereiches.

Zielpublikum

Private und staatliche Umweltlabore sowie Kläranlagen.

Normkonforme Schwermetallbestimmung in Klärschlämmen und Böden mittels Atomabsorptionsspektrometrie (AAS)

Einleitung

Klärschlamm entsteht als Abfallprodukt in der Abwasserbehandlung und besteht aus organischen und mineralischen Stoffen in angereicherter Form. So sind vor allem Pflanzennährstoffe, wie Phosphat und Nitrat, in höheren Konzentrationen enthalten. Klärschlamm kann in der Landwirtschaft als Düngemittel eingesetzt bzw. zur Gewinnung von Düngemitteln verwendet werden. Ein Problem stellen hierbei unter anderem im Klärschlamm enthaltene Schwermetalle dar. Diese werden bei dessen Verwendung in der Landwirtschaft in die Umwelt eingetragen und gelangen schlussendlich in Pflanzen und Grundwasser. Daher ist eine Überwachung der Schwermetallgehalte nicht nur in Klärschlämmen sondern auch in Böden relevant. Die Verwertung von Klärschlamm wird durch nationale Richtlinien und Verordnungen reguliert, in Deutschland durch die Klärschlammverordnung (AbfKlärV). Ziel der Regularien ist es, den Eintrag von Schadstoffen in die Umwelt auf ein unbedenkliches Maß zu reduzieren. Für die Elemente Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel und Zink, gelegentlich auch Mangan und Kobalt, ist die Analyse mittels

Atomabsorptionsspektrometrie (AAS) in zahlreichen Normen festgelegt (z.B. DIN ISO 11047 oder DIN EN ISO 15586). Die AAS ist eine einfache, robuste, kostengünstige und etablierte Technik, die von Kläranlagen oder in staatlichen Einrichtungen bzw. Auftragslaboren genutzt wird. In dieser Applikationsschrift ist die Analyse von Klärschlamm mit dem Atomabsorptionsspektrometer ZEEnit sowohl mit der Flammen- als auch mit der Graphitrohr-AAS beschrieben. Im ZEEnit 700P können beide Atomisierungstechniken ohne Umbau verwendet werden. Das ZEEnit, welches im 2-Feld, 3-Feld und dynamischen Modus betrieben werden kann und mit Zeeman-Untergrundkorrektur mit einer variablen Magnetfeldstärke bis zu einem Tesla arbeitet, bietet damit einen entscheidenden Vorteil. Der dynamische Modus im Graphitrohrbetrieb kombiniert den 2-Feld- und den weniger empfindlichen 3-Feld-Modus und ermöglicht so eine automatische Erweiterung des Messbereiches. Damit können sehr matrixreiche Proben, wie Klärschlämme, bei hervorragender Untergrundkorrektur einfach und ohne zusätzlichen Verdünnungsaufwand analysiert werden.

Material und Methoden

Anhand von zertifiziertem Referenzmaterial wird die Schwermetallanalytik mit dem ZEE nit 700P gezeigt. Alle Arbeitsschritte sowie die Reinheit der verwendeten Reagenzien und eingesetzten Materialien entsprechen den Vorgaben der (Ultra-)Spurenanalytik.

Proben und Reagenzien

- Konzentrierte HNO₃ (65 %)
- Konzentrierte HCl (37 %)
- Cäsiumchlorid-Lanthanchlorid-Pufferlösung (Cs/La) nach Schinkel (10 g/l CsCl, 100 g/l LaCl₃)
- Mg-Modifizier (10 g/l Mg(NO₃)₂)
- Pd-Modifizier (10 g/l Pd)
- Ascorbinsäure
- Zertifizierte Einzelelementstandards für Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Cd und Pb (Konzentration des Analyten jeweils 1000 mg/l)
- Referenzmaterial:
 - BCR-143R Klärschlamm mit angereichertem Boden (European Commission, Institute for Reference Materials and Measurements)
 - BCR-146R Klärschlamm industrieller Herkunft (European Commission, Institute for Reference Materials and Measurements)
 - BAM-U110 kontaminierter Boden (BAM, Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, 2006)

Probenvorbereitung

Der Aufschluss der Proben erfolgte nach DIN ISO 11466 mittels Königswasser. Die Einwaage des Probenmaterials betrug ca. 0,3 g und das Auffüllvolumen 50 ml. Die Probenvorbereitung der Flammenmessung orientiert sich an der Norm DIN ISO 11407. Auch geringere Säureanteile für Standards und Probenverdünnung als in der

Norm beschrieben, führen zu stabilen Messlösungen. Die Proben wurden für die Messungen mittels Flammentechnik mit einer Lösung verdünnt, die 21 Vol.-% konzentrierte HCl und 7 Vol.-% konzentrierte HNO₃ enthält. Für die Elemente Chrom und Mangan wurde zusätzlich 10 Vol.-% der Cs/La-Pufferlösung zugegeben. Die Probenverdünnung für die Messung mittels Graphitrohrtechnik orientiert sich an DIN EN ISO 15586. Als Verdünnungsmittel diente 1 Vol.-% HNO₃.

Kalibrierung mit der Flammentechnik

Entsprechend der DIN ISO 11047 wurden die Kalibrierstandards in einer Lösung mit 21 Vol.-% HCl und 7 Vol.-% HNO₃ angesetzt. Als Nullwert für die Kalibrierung wurde eine Lösung mit 21 Vol.-% HCl und 7 Vol.-% HNO₃ verwendet. Für die Elemente Chrom und Mangan wurde zusätzlich 10 Vol.-% der Cs/La-Pufferlösung zugegeben. Alle Standards wurden aus zertifizierten Einzelelementstandards mit einer Konzentration von 1000 mg/l hergestellt. Die Kalibrierfunktionen für die Flammentechnik sind in den Abbildungen 1 bis 8 dargestellt. Die Konzentrationen der Kalibrierstandards sind in Tabelle 3 angegeben.

Nach der DIN ISO 11047 wird Blei bei einer Wellenlänge von 217 nm gemessen. Alternativ wird eine Wellenlänge von 283 nm empfohlen, da diese etwas weniger sensitive Absorptionslinie ein besseres Signal-Rauschverhältnis und eine geringere Untergrundabsorption aufweist.

Tabelle 1: Konzentrationen der Kalibrierstandards für die Flammentechnik

Standard	Cd [mg/l]	Co [mg/l]	Cr [mg/l]	Cu [mg/l]	Mn [mg/l]	Ni [mg/l]	Pb [mg/l]	Zn [mg/l]
Kal.-Std. 0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kal.-Std. 1	0,2	1	1	1	0,4	1	1	0,2
Kal.-Std. 2	0,4	2	2	2	1	2	2	0,4
Kal.-Std. 3	0,8	4	4	4	2	4	4	0,8
Kal.-Std. 4	1,2	6	6	6	4	6	6	1,2
Kal.-Std. 5	1,6	8	8	8	6	8	8	1,6
Kal.-Std. 6	2,0				8			2,0

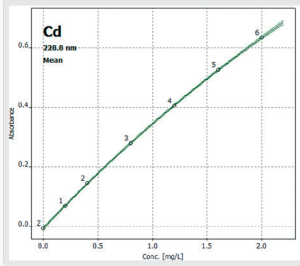


Abb. 1: Cd
 $R^2_{(adj)} = 0,9999$ (nichtlinear)

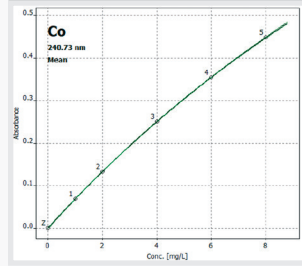


Abb. 2: Co
 $R^2_{(adj)} = 0,9999$ (nichtlinear)

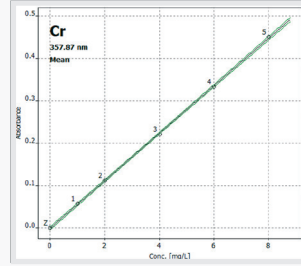


Abb. 3: Cr (Acetylen/Lachgas)
 $R^2_{(adj)} = 0,9998$ (linear)

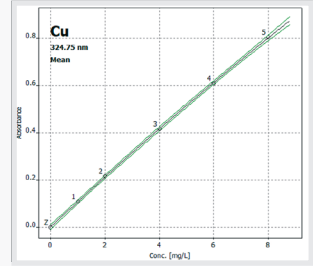


Abb. 4: Cu
 $R^2_{(adj)} = 0,9998$ (nichtlinear)

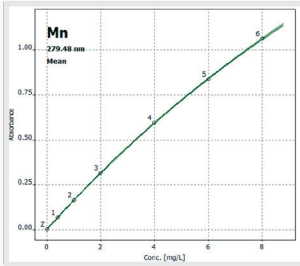


Abb. 5: Mn (Acetylen/Lachgas)
 $R^2_{(adj)} = 0,9999$ (nichtlinear)

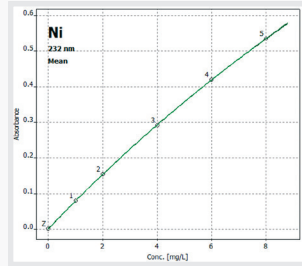


Abb. 6: Ni
 $R^2_{(adj)} = 1,000$ (nichtlinear)

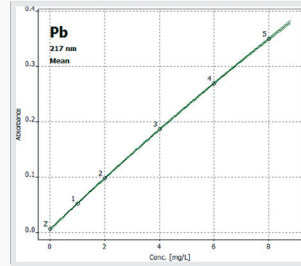


Abb. 7a: Pb (217 nm)
 $R^2_{(adj)} = 1,0000$ (nichtlinear)

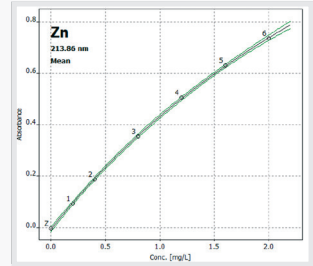


Abb. 8: Zn
 $R^2_{(adj)} = 0,9997$ (nichtlinear)

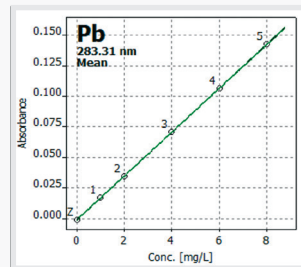


Abb. 7b: Pb (283 nm)
 $R^2_{(adj)} = 1,0000$ (linear)

Kalibrierung mit der Graphitrohrtechnik

Gemäß der DIN EN ISO 15586 wurden die Kalibrierstandards wie in Tabelle 2 angesetzt. Die Stabilisierung der Kalibrierstandards erfolgte mit verdünnter Salpetersäure (1 Vol.-% konzentrierter HNO_3). Als Nullwertlösung und als Verdünnungslösung diente ebenfalls verdünnte HNO_3 -Lösung (1 Vol.-% HNO_3).

Als Matrixmodifizier kamen eine Pd-Mg-Lösung (1 g/l Pd, 0,5 g/l $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$), eine Mg-Lösung (0,5 g/l $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$) und eine Lösung mit $(\text{NH}_4)_2\text{H}_2\text{PO}_4$ (1 Gew.-%) zum Einsatz. Zur besseren Stabilisierung von leichtflüchtigen

Chloridverbindungen der Analyten kann neben der Pd/Mg-Lösung Ascorbinsäure zur Vorreduktion des Palladiums eingesetzt werden. Diese kann durch den Probengeber automatisch in das Graphitrohr injiziert werden. Da gleichzeitiges Mischen in einem Probengefäß zum Ausfallen des Palladiums führt, können die beiden Additive im Pipettierschlauch des Probengebers durch die Probenlösung getrennt werden. Dies ist als Option in den Methodenparametern aufrufbar.

Tabelle 2: Konzentrationen der Kalibrierstandards für die Graphitrohrtechnik

Standard	Cd [µg/l]	Co [µg/l]	Cr [µg/l]	Cu [µg/l]	Mn [µg/l]	Ni [µg/l]	Pb [µg/l]
Kal.-Std. 0	0	0	0	0	0	0	0
Kal.-Std. 1	0,4	6	2	3	1,5	7	1
Kal.-Std. 2	1,2	18	6	9	4,5	21	2
Kal.-Std. 3	2,0	30	10	15	7,5	35	4
Kal.-Std. 4	2,8	42	14	21	10,5	49	6
Kal.-Std. 5	4,0	60	20	30	15,0	70	8

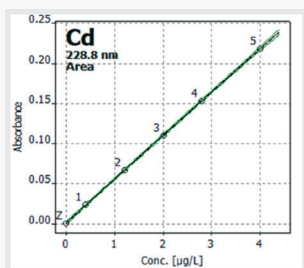


Abb. 9: Cd
R²_(adj) = 0,9999 (linear)

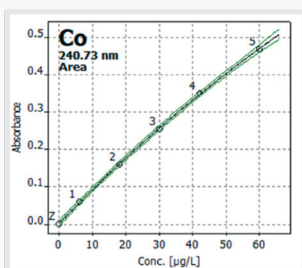


Abb. 10: Co
R²_(adj) = 0,9995 (nichtlinear)

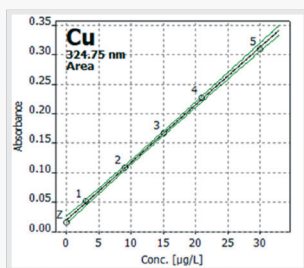


Abb. 11: Cu
R²_(adj) = 0,9990 (linear)

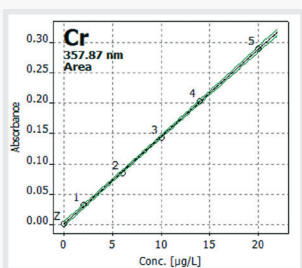


Abb. 12: Cr
R²_(adj) = 0,9995 (linear)

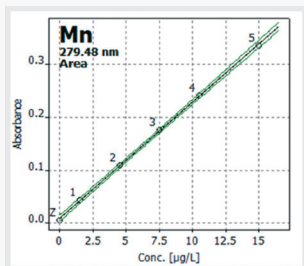


Abb. 13: Mn
R²_(adj) = 0,9991 (linear)

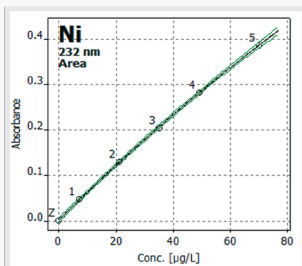


Abb. 14: Ni
R²_(adj) = 0,9997 (nichtlinear)

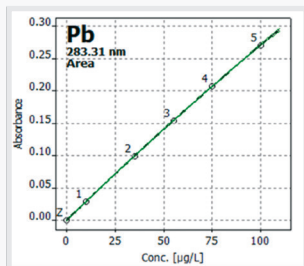


Abb. 15: Pb (283 nm)
R²_(adj) = 0,9999 (nichtlinear)

Geräteparameter

Die Analyse wurde sowohl mit der Flammentechnik als auch mit der Graphitrohrtechnik des ZEE nit 700P durchgeführt. Die verwendeten Geräteparameter sind in Tabelle 3 bis 6 zusammengefasst. In der Graphitrohrtechnik werden elementspezifische Ofenprogramme eingesetzt. Diese sind in Tabelle 7 dargestellt.

Tabelle 3: Allgemeine Geräteparameter für die Flammentechnik

Parameter	Spezifikation
Gerätetyp	ZEE nit 700P
Brennertyp und -stellung	50 mm, 0°
Flammentyp	Acetylen/Luft; Acetylen/Lachgas
Spüllösung	2 Vol.-% HCl

Tabelle 4: Methodeneinstellungen für die Flammentechnik

Element	Wellenlänge [nm]	Spalt [nm]	Lampenstrom [mA]	Flammentyp	Brenngasfluss [l/h]	Brennerhöhe [mm]	Untergrundkorrektur
Cd	228,8	1,2	2	Luft/C ₂ H ₂	45	4	D ₂ -HKL
Co	240,7	0,2	6	Luft/C ₂ H ₂	65	6	D ₂ -HKL
Cr	357,9	0,2	5	Luft/C ₂ H ₂ N ₂ O/C ₂ H ₂	95 185	10 4	-
Cu	324,8	1,2	2	Luft/C ₂ H ₂	45	5	D ₂ -HKL
Mn	279,5	0,2	6	Luft/C ₂ H ₂ N ₂ O/C ₂ H ₂	80 180	6 4	D ₂ -HKL
Ni	232,0	0,2	5	Luft/C ₂ H ₂	45	5	D ₂ -HKL
Pb	217,0 283,3	1,2	4	Luft/C ₂ H ₂	60	6	D ₂ -HKL
Zn	213,9	0,5	2	Luft/C ₂ H ₂	45	4	D ₂ -HKL

Tabelle 5: Allgemeine Geräteparameter für die Graphitrohrtechnik

Parameter	Spezifikation
Gerätetyp	ZEE nit 700P
Rohrtyp	PIN-Plattform
Modifizier	Pd/Mg (1 g/l Pd, 0,5 g/l Mg(NO ₃) ₂) 1 Gew% Ascorbinsäure Mg (0,5 g/l Mg(NO ₃) ₂) NH ₄ H ₂ PO ₄ (1 Gew.-%)
Wiederholungsmessungen	3
Auswertung	Fläche
Untergrundkorrektur	Zeeman (1 T)
Spüllösung	1 Vol.-% HNO ₃ 0,05 Gew.-% Tergitol

Tabelle 6: Methodeneinstellungen für die Graphitrohrtechnik

Element	Wellenlänge [nm]	Spalt [nm]	Lampenstrom [mA]	Modifizier	Magnetfeldstärke [T]
Cd	228,8	0,8	2	NH ₄ H ₂ PO ₄	1
Co	240,7	0,2	5	Mg	1
Cr	357,9	0,2	4	Mg	0,7
Cu	324,8	0,8	2	Pd/Mg*	1
Mn	279,5	0,2	5	Pd/Mg*	1
Ni	232,0	0,2	4	Mg	1
Pb	283,3	0,8	3	NH ₄ H ₂ PO ₄	1

* Zugabe von Ascorbinsäure für die Pd-Reduktion

Tabelle 7: Ofenprogramme für die Graphitrohrtechnik

Element	Temperatur [°C]	Rampe [°C/s]	Haltezeit [s]	Element	Temperatur [°C]	Rampe [°C/s]	Haltezeit [s]
Cd	85	6	15	Co	85	6	15
	95	3	15		95	3	15
	110	5	10		110	5	10
	350	50	5		350	50	5
	550	300	10		950	300	10
	1450	1400	3		2200	1500	4
	2450	500	4		2450	500	4
Cu	85	6	15	Mn	85	6	15
	95	3	15		95	3	15
	110	5	10		110	5	10
	350	50	5		350	50	5
	950	300	10		700	300	10
	2100	1500	4		1600	1500	4
	2450	500	4		2450	500	4

Element	Temperatur [°C]	Rampe [°C/s]	Haltezeit [s]	Element	Temperatur [°C]	Rampe [°C/s]	Haltezeit [s]
Ni	85	6	15	Pb	85	6	15
	95	3	15		95	3	15
	110	5	10		110	5	10
	350	50	5		350	50	5
	1000	300	10		700	300	10
	2450	1500	5		1600	1400	3
	2550	500	4		2450	500	4

Ergebnisse und Diskussion

In Tabelle 8 sind die Messergebnisse der Schwermetallbestimmung in den ausgewählten Referenzmaterialien dargestellt. Während für die Flammenmessung keine oder nur geringe Verdünnungsfaktoren verwendet wurden, war für die nachweisstärkere Graphitrohrtechnik bei den meisten Elementen eine stärkere Verdünnung der Probe notwendig. Bei der Quantifizierung von Chrom und Mangan mittels Luft-Acetylen-Flamme können vermehrt Interferenzen auftreten. Diese lassen sich mit einer erhöhten Zugabe von Cs/La-Lösung oder einem Zusatz von NaSO₄ (z.B. 0,1 Gew.-%) kompensieren. Alternativ kann die Analyse mittels Lachgas-Acetylen-Flamme erfolgen. Interferenzen sind bei Verwendung dieses Flammentyps kaum bis gar nicht erkennbar.

Die relevanten Konzentrationen von Zink in Umweltproben überschreiten den Messbereich der Graphitrohrtechnik

deutlich. Daher wird Zink bevorzugt mittels Flammentechnik quantifiziert. Mit dem ZEEmit kann jedoch mit Hilfe des 3-Feld-Modus die Messempfindlichkeit für Zink so weit reduziert werden, dass auch umweltrelevante Fragestellungen ohne hochreine Reagenzien und Säuren mittels Graphitrohrtechnik gemessen werden können. Die Kobaltwerte des Referenzmaterials BCR 143R und BCR 146R sind nach dem Königswasseraufschluss im Bereich der Nachweisgrenze der Flammentechnik und wurden daher mittels Graphitrohrtechnik bestimmt.

Für die Bestimmung von Blei in Klärschlämmen und Böden wurde für die Analyse die Absorptionslinie bei 283 nm verwendet, da bei hoher Matrixlast einer Probe im Vergleich zur Absorptionslinie bei 217 nm eine verringerte Untergrundabsorption auftritt. Zudem werden damit bessere Nachweisgrenzen erreicht.

Tabelle 8: Ergebnisse der Referenzmaterialien Boden und Klärschlamm

Probe: BCR 143R		Flammenmodus			Graphitrohrmodus		
Element	Sollwert [mg/kg]	Verdünnungs-faktor	Messwert [mg/kg]	Wiederfindung [%]	Verdünnungs-faktor	Messwert [mg/kg]	Wiederfindung [%]
Cr*	426 ± 12	1	437 ± 7,7	103	-	-	-
Mn*	858 ± 11	2	836,3 ± 3,4	97	500	872 ± 12	102
Co	12,3 ± 0,3	-	-	-	2	11,33 ± 1,2	92
Ni	296 ± 4	1	302,1 ± 1,1	102	100	291,4 ± 5,4	98
Cu	128 ± 7	1	131,9 ± 0,7	103	100	128,6 ± 12	100
Zn	1063 ± 16	10	1042 ± 2,4	98	-	-	-
Cd	72 ± 1,8	2	70,1 ± 0,7	97	250	70,33 ± 2,8	99
Pb	174 ± 4	1	168,2 ± 1,6	97	50	176,5 ± 1,4	101

Probe: BCR 146R		Flammenmodus			Graphitrohrmodus		
Element	Sollwert [mg/kg]	Verdünnungs-faktor	Messwert [mg/kg]	Wiederfindung [%]	Verdünnungs-faktor	Messwert [mg/kg]	Wiederfindung [%]
Cr	174 ± 4	1	172,7 ± 0,1	99	100	172,6 ± 1,6	99
Mn	298 ± 9	2	285,6 ± 3,1	96	300	307,5 ± 2,5	103
Co	6,5 ± 0,4	-	-	-	2	6,20 ± 0,07	95
Ni	65 ± 3	1	61,2 ± 0,8	94	10	62,1 ± 1,0	96
Cu	831 ± 16	1	819,2 ± 1,9	99	100	821 ± 2,3	101
Zn	3040 ± 60	30	3020 ± 11	99	-	-	-
Cd	18,4 ± 0,4	2	17,91 ± 0,16	97	100	17,92 ± 0,23	97
Pb	583 ± 17	1	560,5 ± 6,4	96	100	588,7 ± 6,4	101

Probe: BAM U110		Flammenmodus			Graphitrohrmodus		
Element	Sollwert [mg/kg]	Verdünnungs-faktor	Messwert [mg/kg]	Wiederfindung [%]	Verdünnungs-faktor	Messwert [mg/kg]	Wiederfindung [%]
Cr	190 ± 9	1	184,4 ± 0,7	97	-	-	-
Mn	580 ± 19	2	546,7 ± 1,2	94	400	586,2 ± 3,2	101
Co	14,5 ± 0,8	1	13,4 ± 1,1	92	3	14,27 ± 0,11	98
Ni	95,6 ± 4	1	91,7 ± 1,4	96	20	92,8 ± 0,8	97
Cu	262 ± 9	1	262,1 ± 2,5	100	100	252 ± 2,7	96
Zn	990 ± 40	10	948,2 ± 4,5	96	-	-	-
Cd	7 ± 0,4	1	6,65 ± 0,015	95	50	6,93 ± 0,24	99
Pb	185 ± 8	1	191,7 ± 3,1	103	50	185,2 ± 3,2	100

*Messwert mit der Acetylen-Lachgas-Flamme ermittelt

Tabelle 9: Nachweisgrenzen für die Flammentechnik, ermittelt nach dem 3 σ -Kriterium einer 11-fach Blindwertmessung

Element	Wellenlänge [nm]	Nachweisgrenze [mg/l]
Cd	228,8	0,0040
Co	240,7	0,0070
Cr	357,9	0,014 (Luft-Acetylen) 0,0095 (Lachgas-Acetylen)
Cu	324,8	0,0030
Mn	279,5	0,0040 (Luft-Acetylen) 0,0123 (Lachgas-Acetylen)
Ni	232,0	0,0063
Pb	217,0 283,3	0,062 0,010

Tabelle 10: Nachweisgrenzen für die Graphitrohrtechnik nach dem 3 σ -Kriterium einer 11-fach Blindwertmessung

Element	Wellenlänge [nm]	Nachweisgrenze [$\mu\text{g/l}$]
Cd	228,8	0,0090
Co	240,7	0,24
Cr	357,9	0,060
Cu	324,8	0,11
Mn	279,5	0,044
Ni	232,0	0,41
Pb	283,3	0,30

Zusammenfassung

Das ZEE nit 700P bietet dank seines doppelten Probenraumkonzeptes die Anwendungen der Flammen- und der Graphitrohrtechnik ohne Umbau. Wie die Messungen zeigen, ist die weniger empfindliche Flammentechnik gut für die Schwermetallbestimmung in Klärschlämmen und belasteten Bodenproben geeignet. Für niedrigere Konzentrationen der Schwermetalle ist die Graphitrohrtechnik mit der deutlich höheren Nachweisstärke und Präzision erforderlich. Die ausgewählten Elemente Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel, Mangan, Kobalt und Zink konnten mit beiden Techniken in den verwendeten, umweltrelevanten Referenzmaterialien mit hervorragenden Wiederfindungsraten von 92–103 % sehr zuverlässig bestimmt werden. Dank der leistungsstarken Zeeman-Untergrundkorrektur des ZEE nit 700P lassen sich auch sehr geringe Gehalte toxischer Elemente wie Blei und Cadmium, selbst in Proben mit hoher Matrixlast, einfach und zuverlässig quantifizieren.

Zur Automatisierung des Analyseverfahrens stehen sowohl für die Flammen- als auch für die Graphitrohrtechnik Probengeber mit automatischer Standardherstellung und Probenverdünnung zur Verfügung und erleichtern so das Arbeiten im Routinebetrieb.



Abb. 16: ZEE nit 700P mit Autosampler

Übersicht benötigter Geräte und Verbrauchsmaterialien

Tabelle 11: Übersicht benötigter Geräte und Verbrauchsmaterialien

Artikel	Artikelnummer	Beschreibung
ZEEnit 700P	813-0700P-2-K	Flammen- und Graphitrohrföfen-AAS mit Zeeman-Untergrundkorrektur mit Ofenkamera
AS-GF Autosampler	-	Probengeber mit Auto-Verdünnung für Graphitrohrtechnik, Bestandteil des Systems
Kühlmobil	810-60053-0	Software-gesteuertes Kühlsystem für Graphitrohrtechnik, 50 Hz (60 Hz auf Anfrage)
Verbrauchsmaterialset G	810-60079-0	Verbrauchsmaterial für Graphitrohrtechnik ZEEnit
AS-FD	810-60501-0	Probengeber mit Auto-Verdünnung für Flammentechnik
Druckluftkompressor	810-60055-0	Versorgung der Flammen-AAS mit Wasser- und Ölfreier Druckluft, 50 Hz (60Hz auf Anfrage)
50 mm Brennerkopf	810-60057-0	Brennerkopf für Acetylen/Lachgas- oder Acetylen/Luft-Flamme (100 mm Brennerkopf auf Anfrage)
Scraper	810-60127-0	Automatischer Brennerkopfreiniger für die Acetylen/Lachgas-Flamme
Verbrauchsmaterialset F	810-60258-0	Set für Flammentechnik novAA/contrAA/ZEEnit-Serien
HKL Cd	480-450.008C	Kodierte Hohlkathodenlampe Cadmium
HKL Co	480-450.013C	Kodierte Hohlkathodenlampe Kobalt
HKL Cr	480-450.012C	Kodierte Hohlkathodenlampe Chrom
HKL Cu	480-450.014C	Kodierte Hohlkathodenlampe Kupfer
HKL Mn	480-450.032C	Kodierte Hohlkathodenlampe Mangan
HKL Ni	480-450.036C	Kodierte Hohlkathodenlampe Nickel
HKL Pb	480-450.028C	Kodierte Hohlkathodenlampe Blei
HKL Zn	480-450.028C	Kodierte Hohlkathodenlampe Zink

Weitere Lampen auf Anfrage

Dieses Dokument ist zum Zeitpunkt der Veröffentlichung wahr und korrekt; die darin enthaltenen Informationen können sich ändern. Dieses Dokument kann durch andere Dokumente ersetzt werden, einschließlich technischer Änderungen und Korrekturen.