

Untersuchung des Referenzmaterials ERM®-CZ120

Zusammenfassung der Ergebnisse der Vergleichsuntersuchung

R. Lumpp, M. Klein, K. Berger, E. Bieber, F. Bunzel, M. Ernst, C. Frels, W. Günther, C. Hagemann, C. Koch, A. Olschewski

Zusammenfassung In Vergleichsuntersuchungen wurde das zertifizierte Referenzmaterial ERM®-CZ120 auf seine Eignung für die Elementanalytik überprüft. Die bei diesen Untersuchungen angewendeten sieben Aufschlussvarianten sind zur Bestimmung von Arsen, Cadmium, Blei und Nickel in Staub „Fine Dust (PM₁₀-Like)“ grundsätzlich geeignet. Das Referenzmaterial kann somit zur Überprüfung der Einhaltung von Mindestanforderungen des Referenzverfahrens nach DIN EN 14902 für diese vier Elemente eingesetzt werden. Für einige Elemente können die im Zertifikat angegebenen Gehalte bei Anwendung des Aufschlusses nach der Norm DIN EN 14902 (ohne Flusssäure) nicht verifiziert werden.

1 Einführung

Seit November 2010 ist das zertifizierte Referenzmaterial ERM®-CZ120 des Institute for Reference Materials and Measurements (IRMM) mit der Bezeichnung „Fine Dust

Dr. Ralf Lumpp, Michael Klein,

Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe.

Dr. Klaus Berger,

Eurofins GfA GmbH, Hamburg.

Dr. Elke Bieber,

Umweltbundesamt, Langen.

Dipl.-Ing. Frank Bunzel,

Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht, Mainz.

Monika Ernst,

Landesumweltamt Sachsen-Anhalt, Halle.

Dr. Claudia Frels,

Behörde für Gesundheit und Verbraucherschutz, Institut für Hygiene und Umwelt, Hamburg.

Dr. Werner Günther,

Staatliches Gewerbeaufsichtsamt Hildesheim, Hildesheim.

Cornelia Hagemann,

Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA), Sankt Augustin.

Christoph Koch,

Bayerisches Landesamt für Umwelt, Augsburg.

Anja Olschewski,

Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW, Essen.

A study on the certified reference material ERM®-CZ120 – Results of round robin tests

Abstract In round robin tests the suitability of the certified reference material ERM®-CZ120 for the determination of elements was checked. The seven digestion variants used in this study are in general suitable for the determination of As, Cd, Pb und Ni in fine dust (PM₁₀-like). Thus, the reference material can be used to check the compliance with the minimum requirements of the reference method according to DIN EN 14902 for these four elements. For some of the elements the concentrations given in the certificate cannot be achieved with digestion according to DIN EN 14902 (without hydrofluoric acid).

(PM₁₀-Like)“ erhältlich. Das Material kann bei der Bestimmung der Staubinhaltsstoffe Pb, Cd, As und Ni in PM₁₀ zur Methodenentwicklung sowie zur Qualitätssicherung der Analytik eingesetzt werden [1]. Die Zertifizierung erfolgte anhand unterschiedlicher Aufschluss- und Analysemethoden. Das Mitführen von zertifizierten Referenzmaterialien mit gleicher oder ähnlicher Matrix wie die zu bestimmende Probe im analytischen Prozess dient dazu, sicherzustellen, dass die geforderte Analysenqualität erreicht und eingehalten wird, und dies, z. B. gegenüber einem Akkreditierer, zu dokumentieren. Daher ist es hilfreich, dass für die Bestimmung der Staubinhaltsstoffe nun ein derartiges Referenzmaterial verfügbar ist.

Allerdings wurden zur Zertifizierung der Elemente Pb, Cd, As und Ni im Referenzmaterial ERM®-CZ120 nicht ausschließlich das nach EU-Luftqualitätsrichtlinie vorgesehene Referenzverfahren nach DIN EN 14902 [2] angewandt, das viele Laboratorien zur Luftqualitätsüberwachung einsetzen. Die Arbeitsgruppe „Messen von Metallen und Halbmetallen (I)“ der Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN (KRdL) hat daraufhin beschlossen, die Verwendbarkeit der zertifizierten Werte in Bezug auf das Referenzverfahren nach DIN EN 14902 [2] für die Elemente Pb, Cd, As und Ni sowie für weitere Elemente nach VDI 2267 Blatt 1 [3] und Blatt 5 [4] durch Vergleichsmessungen zu überprüfen.

2 Versuchsdurchführung

Der Inhalt zweier Gefäße (je 0,5 g) des Referenzmaterials ERM®-CZ120 wurde miteinander homogen vermischt und erstmals im Juni 2012 in Portionen zu je 80 mg für jede Aufschlussvariante an die Teilnehmer versandt.

Die Teilnehmer wurden gebeten, die im jeweiligen Labor etablierten Aufschlussvarianten (Tabelle 1) als Dreifachbestimmung mit je 20 mg Einwaage durchzuführen.

Nach einer Sichtung der Ergebnisse wurde zur Erhöhung der Datendichte die Vergleichsmessung im November 2012 nochmals durchgeführt.

Tabelle 1. Kurzbeschreibung der eingesetzten Aufschlussvarianten (aus VDI 2267 Blatt 3 [4] mit Erlaubnis des VDI).

Nr.	Bezeichnung	Kurzbeschreibung
1	Offen mit Flusssäure	HF/HNO ₃ /H ₂ O ₂ ; 2 ml + 5 ml + 2 ml; 130 °C (an Heizplatte) zur Trockene; Aufnahme mit 1 % HNO ₃
2	Offen mit Flusssäure und Perchlorsäure	HF/HNO ₃ /HClO ₄ ; 3 ml + 10 ml + 2 ml; mehrstufiges Temperaturprogramm bis 200 °C (an Heizblock) gerade zur Trockene; mit H ₂ O auf 50 ml auffüllen
3	Offen, IFA 6015	HNO ₃ (65 %)/HCl (25 %); 10 ml (Mischungsverhältnis 2 : 1); 2 h Kochen unter Rückfluss; mit 10 ml H ₂ O auf 20 ml auffüllen
4	Mikrowelle, DIN EN 14902	HNO ₃ /H ₂ O ₂ ; 8 ml + 2 ml; mehrstufiges Temperaturprogramm bis 220 °C (im Aufschlussgefäß). Auffüllen auf 50 ml mit H ₂ O
4a	Mikrowelle, DIN EN 14902 mit HCl	HNO ₃ /H ₂ O ₂ /HCl; 8 ml + 2 ml + 1 ml; mehrstufiges Temperaturprogramm bis 220 °C (im Aufschlussgefäß). Auffüllen auf 50 ml mit H ₂ O
5	Mikrowelle, DIN EN 14902 modifiziert (T _{max} = 200 °C)	HNO ₃ /H ₂ O ₂ ; 8 ml + 2 ml; mehrstufiges Temperaturprogramm bis 200 °C (im Aufschlussgefäß). Auffüllen auf 50 ml mit H ₂ O
6	Mikrowelle mit Flusssäure	HNO ₃ /HF/H ₂ O ₂ ; 8 ml + 2 ml + 2 ml; mehrstufiges Temperaturprogramm bis 200 °C (im Aufschlussgefäß). Eindampfen zur Trockene; Aufnahme mit 1 % HNO ₃
7	Thermischer Druckaufschluss mit Flusssäure	HNO ₃ /HF/H ₂ O ₂ ; 5 ml + 1 ml + 2 ml; mehrstufiges Temperaturprogramm bis 220 °C (im Aufschlussblock). Eindampfen zur Trockene; Aufnahme mit 1 % HNO ₃

Tabelle 2. Vergleich der Wiederfindungen von Elementen in ERM®-CZ120 bei Anwendung unterschiedlicher Aufschlussvarianten.

Element	Zertifizierter Wert in mg/kg	Wiederfindung von Elementen in ERM®-CZ120 Aufschlussvarianten in %								
		1	2	3	4	4a ¹⁾	5	6	7	
Arsen As	7,1	104	97	106	95	108	99	108	105	
Blei Pb	113	108	100	98	99	101	95	108	104	
Cadmium Cd	0,90	113	96	98	104	105	101	127	121	
Nickel Ni	58	101	104	92	92	94	98	102	99	
	Informativer Wert²⁾ in mg/kg									
Aluminium Al	(34 100)	94		42	45	50	49	100	106	
Antimon Sb	(64,7)	99	98	84	44	76	52	101	99	
Barium Ba	(562,2)	106		73	71	74	74	110	113	
Calcium Ca	(63 043)	93		86	82	85	91	99	108	
Chrom Cr	(201)	68	86	58	74	74	75	97	92	
Cobalt Co	(14,3)	100		83	89	86	90	100	100	
Eisen Fe	(38 144)	97		86	90	89	92	99	100	
Kalium K	(10 998)	105		26	29	31	34	103	102	
Kupfer Cu	(462)	87	84	83	86	85	87	88	87	
Magnesium Mg	(13 200)	89		75	75	78	78	98	104	
Mangan Mn	(611)	98		87	91	88	91	97	97	
Natrium Na	(14 211)	99		57	56	58	58	98	101	
Vanadium V	(72,4)	92		73	80	78	81	99	98	
Zink Zn	(1 240)	99		81	93	85	95	99	98	

¹⁾ Dieser Aufschluss wurde nur von einem Labor durchgeführt (sechs Messwerte je Element).

²⁾ Die Gehalte der in der Tabelle aufgeführten Elemente mit den informativen Werten des ERM-CZ120 wurden ausschließlich mittels Neutronenaktivierungsanalyse ermittelt.

3 Aufschlussvarianten

Tabelle 1 listet die im Rahmen der durchgeführten Vergleichsuntersuchungen eingesetzten Aufschlussvarianten auf. Die Aufschlüsse sind in VDI 2267 Blatt 3 [4] ausführlich beschrieben.

4 Darstellung der Ergebnisse

Die Aufschlüsse 4 und 5 nach DIN EN 14902 [2] wurden von fünf verschiedenen Laboren durchgeführt. Aufgrund der beiden Vergleichsmessungen (Juni und November 2012) ergaben sich für die zertifizierten Hauptelemente Pb, Cd, As und Ni je 25 Einzelergebnisse.

Tabelle 3. Ermittelte Elementgehalte und Wiederfindungen (WDF) des Referenzmaterials ERM®-CZ120 bei Anwendung der Aufschlussvarianten 4 und 5.

Element	Zertifizierter Wert in mg/kg	Mittelwert in mg/kg	s ¹⁾ in mg/kg	s in %	Anzahl der Messwerte	WDF zum Zertifikat in %
Arsen As	7,1	6,9	0,4	5	25	97
Blei Pb	113	109	4	3	25	97
Cadmium Cd	0,90	0,92	0,07	7	25	102
Nickel Ni	58	55,5	2,3	4	25	96
	Informativer Wert²⁾ in mg/kg					
Aluminium Al	(34 100)	16471	1376	8	13	48
Antimon Sb	(64,7)	31,7	6,1	19	25	49
Barium Ba	(562,2)	411	14	3	13	73
Calcium Ca	(63 043)	56 228	3 659	7	13	89
Chrom Cr	(201)	149	17	11	25	74
Cobalt Co	(14,3)	12,8	0,7	5	25	89
Eisen Fe	(38 144)	34 670	1 228	4	22	91
Kalium K	(10 998)	3 582	478	13	13	33
Kupfer Cu	(462)	401	20	5	25	87
Magnesium Mg	(13 200)	10 177	311	3	13	77
Mangan Mn	(611)	554	24	4	25	91
Natrium Na	(14 211)	8 232	526	6	13	58
Vanadium V	(72,4)	58,3	4,1	7	25	81
Zink Zn	(1 240)	1 171	105	9	25	94

¹⁾ Standardabweichung

²⁾ Die informativen (nicht zertifizierten) Gehalte der in der Tabelle aufgeführten Elemente wurden ausschließlich mittels Neutronenaktivierungsanalyse ermittelt.

Die Varianten 6 und 7 (Druckaufschlüsse mit Verwendung von Flusssäure) wurden von zwei verschiedenen Laboren durchgeführt. Hier wurden 18 Einzelergebnisse für die zertifizierten Hauptelemente Pb, Cd, As und Ni ermittelt.

Für die anderen Aufschlussvarianten standen je Element mindestens sechs Einzelergebnisse zur Auswertung zur Verfügung (**Tabelle 2**).

Da bei Anwendung der Aufschlussvariante 4 (nach DIN EN 14902 [2]) und Aufschlussvariante 5 (modifiziert, $T_{\max} = 200 \text{ °C}$) gleichwertige Ergebnisse erzielt werden [5], sind in **Tabelle 5** die Mittelwerte der Elementgehalte und die resultierenden Wiederfindungen bezogen auf die im Zertifikat angegebenen Gehalte bei Anwendung dieser Aufschlussvarianten dargestellt.

Wie in VDI 2267 Blatt 5 [4] beschrieben, werden bei Anwendung der Aufschlussvarianten 6 und 7 (Druckaufschlüsse mit Verwendung von Flusssäure) vollständige Aufschlüsse auch silikatisch gebundener Elemente erzielt. In **Tabelle 4** sind die Mittelwerte der Elementgehalte und die resultierenden Wiederfindungen bezogen auf die im Zertifikat angegebenen Gehalte bei Anwendung dieser Aufschlussvarianten dargestellt.

Tabelle 5 zeigt die Gegenüberstellung der Wiederfindungen bei Anwendung der Aufschlussvarianten 4 und 5 sowie der Varianten 6 und 7. Im **Bild** sind die Werte aus **Tabelle 5** zusammen mit den Standardabweichungen der Mehrfachbestimmungen grafisch dargestellt.

Zur besseren Übersicht sind in der **Tabelle 5** und im **Bild** die nicht zertifizierten Elemente nach den ermittelten Wiederfindungen bei Anwendung der Aufschlussvarianten 4 und 5 in absteigender Reihenfolge dargestellt.

5 Diskussion der Ergebnisse

Aus **Tabelle 2** ist ersichtlich, dass alle Aufschlussvarianten bei der Bestimmung von As, Cd, Pb und Ni im zertifizierten Referenzmaterial ERM®-CZ120 geeignet sind. Bei Anwendung der Aufschlussvarianten 4 und 5 werden Wiederfindungen im Bereich von 92 bis 104 % für diese Elemente bezogen auf die zertifizierten Werte erreicht. Bei 25 Messwerten – ermittelt durch fünf Laboratorien – liegen die relativen Standardabweichungen zwischen 5 und 7 %.

Bei Anwendung der Druckaufschlüsse mit Flusssäure (Varianten 6 und 7) werden für die Elemente Pb, As und Ni Wiederfindungen von 99 bis 108 % bezogen auf die zertifizierten Werte erreicht. Bei 18 Messwerten ermittelt durch zwei Laboratorien liegen die relativen Standardabweichungen bei < 5 %.

Für das Element Cd wird beim Druckaufschluss mit Flusssäure eine mittlere Wiederfindung von 125 % ermittelt. Auch bei Anwendung des offenen Aufschlusses 1 mit Flusssäure wurde eine mittlere Wiederfindung von 115 % ermittelt. Hierbei ist zu beachten, dass die erweiterte Messunsicherheit für Cd mit 0,22 mg/kg (25 %) zertifiziert wurde, während die Messunsicherheiten für Pb, As und Ni mit 10 bis 15 % deutlich kleiner angegeben sind.

Für alle weiteren Elemente werden im Zertifikat nicht zertifizierte Gehalte angegeben, die ausschließlich mittels Neutronenaktivierungsanalyse bestimmt wurden. Zum Teil liegen diese Elemente silikatisch gebunden vor und können deshalb ohne Zusatz von Flusssäure nicht vollständig aufgeschlossen werden.

Die Elemente Calcium, Kobalt, Eisen, Mangan und Zink wurden mit Wiederfindungen > 85 % bei Anwendung der Aufschlussvarianten 4 und 5 nach DIN EN 14902 [2] be-

Tabelle 4. Ermittelte Elementgehalte und Wiederfindungen (WDF) des Referenzmaterials ERM®-CZ120 bei Anwendung der Aufschlussvarianten 6 und 7.

Element	Zertifizierter Wert in mg/kg	Mittelwert in mg/kg	s ¹⁾ in mg/kg	s in %	Anzahl der Messwerte	WDF zum Zertifikat in %
Arsen As	7,1	7,6	0,3	4	18	107
Blei Pb	113	121	4	3	18	107
Cadmium Cd	0,90	1,12	0,06	5	18	125
Nickel Ni	58	58,7	1,5	3	18	101
	Informativer Wert ²⁾ in mg/kg					
Aluminium Al	(34 100)	34 691	1966	6	12	102
Antimon Sb	(64,7)	65	2	4	18	100
Barium Ba	(562,2)	622	22	4	18	111
Calcium Ca	(63 043)	63 661	3331	5	12	101
Chrom Cr	(201)	192	9	5	18	95
Cobalt Co	(14,3)	14,3	0,5	4	18	100
Eisen Fe	(38 144)	37 923	1 499	4	18	99
Kalium K	(10 998)	11 336	184	2	12	103
Kupfer Cu	(462)	405	12	3	18	88
Magnesium Mg	(13 200)	13 113	695	5	12	99
Mangan Mn	(611)	594	16	3	18	97
Natrium Na	(14 211)	14 039	596	4	18	99
Vanadium V	(72,4)	71,4	1,7	2	18	99
Zink Zn	(1 240)	1 227	36	3	18	99

¹⁾ Standardabweichung

²⁾ Die informativen (nicht zertifizierten) Gehalte der in der Tabelle aufgeführten Elemente wurden ausschließlich mittels Neutronenaktivierungsanalyse ermittelt.

Tabelle 5. Gegenüberstellung der Wiederfindungen bei Anwendung der Aufschlussvarianten 4 und 5 mit den Wiederfindungen bei Anwendung der Varianten 6 und 7.

Element	Zertifizierter Wert in mg/kg	Erweiterte Unsicherheit in mg/kg	Erweiterte Unsicherheit in %	Aufschluss 4 und 5 in %	Aufschluss 6 und 7 in %
Arsen As	7,1	0,7	10	97	107
Blei Pb	113	17	15	97	107
Cadmium Cd	0,90	0,2	22	102	125
Nickel Ni	58	7	12	96	101
	Informativer Wert¹⁾ in mg/kg				
Zink Zn	(1 240)			94	99
Eisen Fe	(38 144)			91	99
Mangan Mn	(611)			91	97
Cobalt Co	(14,3)			89	100
Calcium Ca	(63 043)			89	101
Kupfer Cu	(462)			87	88
Vanadium V	(72,4)			81	99
Magnesium Mg	(13 200)			77	99
Chrom Cr	(201)			74	95
Barium Ba	(562,2)			73	111
Natrium Na	(14 211)			58	99
Antimon Sb	(64,7)			49	100
Aluminium Al	(34 100)			48	102
Kalium K	(10 998)			33	103

¹⁾ Die informativen (nicht zertifizierten) Gehalte der in der Tabelle aufgeführten Elemente wurden ausschließlich mittels Neutronenaktivierungsanalyse ermittelt.

stimmt. Mit den Aufschlussvarianten 6 und 7 (mit Flusssäure) werden die in dem Zertifikat angegebenen Elementgehalte mit Wiederfindungen von 97 bis 101 % gefunden.

Bei den Elementen Chrom, Magnesium und Vanadium wird dieser Sachverhalt noch deutlicher. Während bei Anwendung der Druckaufschlüsse mit Zusatz von Flusssäure die im Zertifikat angegebenen Gehalte ermittelt werden (Wiederfindungen: 95 bis 99 %), sind bei Anwendung der Aufschlussvarianten 4 und 5 Minderbefunde von 20 bis 30 % beobachtet worden.

Die überwiegend silikatisch gebundenen Elemente Aluminium, Natrium und Kalium werden bei Anwendung der Aufschlussvarianten 4 und 5 mit Wiederfindungen < 60 % bestimmt, während bei Anwendung der Aufschlüsse mit Zusatz von Flusssäure die im Zertifikat angegebenen Gehalte ermittelt werden (Wiederfindungen: 99 bis 103 %).

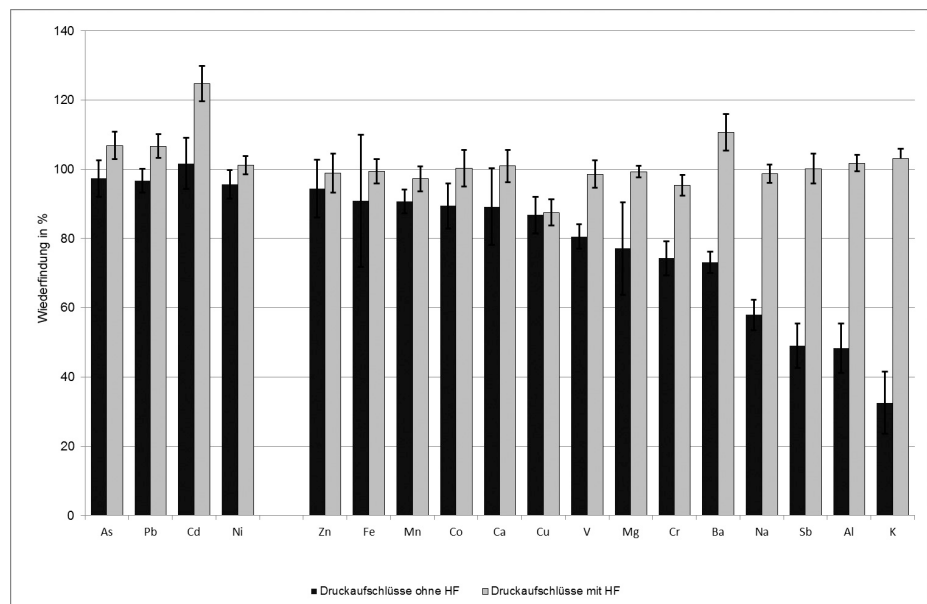
Bei Aufschlüssen ohne Zusatz von Flusssäure oder Salzsäure werden Minderbefunde von ca. 50 % beim Element Antimon ermittelt. Neben der möglichen silikatischen Bindung hängt dies auch mit der Bildung der schwerlöslichen Antimonsäure in Gegenwart von Salpetersäure zusammen. Der Zusatz von 1 ml Salzsäure bei Aufschlussvariante 4a führt zu einer Erhöhung der Wiederfindung von 44 auf 76 %. Dieser Befund bestätigt sich bei Anwendung der Aufschlussvariante 5 (Säuremischung aus HNO₃ und HCl im Verhältnis 2 : 1). Hier wird eine Wiederfindung von > 80 % erreicht.

Für das Element Kupfer wurde im Rahmen dieser Untersuchung mit allen Aufschlussvarianten zwischen 83 bis 88 % des im Zertifikat angegebenen Gehalts ermittelt.

Bei dem teils silikatisch gebundenen Element Barium werden bei Anwendung der Aufschlussvarianten 4 und 5 Minderbefunde von 25 bis 30 % beobachtet. Bei Anwendung der Aufschlüsse mit Zusatz von Flusssäure werden die im Zertifikat angegebenen Gehalte jedoch um ca. 10 % überschritten. Die Ursache dieser Abweichungen bei Kupfer und Barium kann an dieser Stelle nicht geklärt werden.

6 Fazit

Die Arbeitsgruppe „Messen von Metallen und Halbmetallen (I)“ der Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN (KRdL) hat in Vergleichsuntersuchungen die Verwendbarkeit des zertifizierten Referenzmaterial ERM[®]-CZ120 in Bezug auf das Referenzverfahren DIN EN 14902 [2] für die Elemente Pb, Cd, As und Ni bzw. für diese und weitere Elemente nach VDI 2267 Blatt 1 [3] und Blatt 3 [4] überprüft. Die angewendeten Aufschlussvarianten sind zur Bestimmung von As, Cd, Pb und Ni in Staub „Fine Dust (PM10-Like)“ grundsätzlich geeignet. Bei Anwendung der Aufschlussvariante 4 nach DIN EN 14902 [2] und Aufschlussvariante 5 (modifiziert, $T_{\max} = 200 \text{ °C}$) wurden für diese Elemente Wiederfindungen im Bereich von 92 bis 104% bezogen auf die zertifizierten Werte erreicht. Die relativen Standardabweichungen lagen zwischen 3 und 7 %.



Ermittelte Wiederfindungen der Elemente und Standardabweichungen der Mehrfachbestimmungen bei Anwendung verschiedener Druckaufschlüsse.

Das Referenzmaterial ERM[®]-CZ120 kann eingesetzt werden, um zu überprüfen, dass die Mindestanforderungen der Referenzmethode nach DIN EN 14902 [2] bei der Bestimmung von Pb, Cd, Ni und As in Schwebstaub PM₁₀ eingehalten werden.

Je nach Aufgabenstellung sind die Massenkonzentrationen weiterer Metalle und Halbmetalle im Schwebstaub der Außenluft und in Emissionen zu bestimmen. Relevante Elemente sind z. B. in der TA Luft, 59. BImSchV, 13. BImSchV oder 17. BImSchV aufgeführt. Aus den hier durchgeführten Untersuchungen geht hervor, dass bei Anwendung des nach EU-Luftqualitätsrichtlinie vorgesehenen Referenzverfahrens nach DIN EN 14902 [2] die im Zertifikat angegebenen Gehalte einiger Elemente nicht ermittelt werden können. Lediglich bei Anwendung von Druckaufschlüssen mit Zugabe von Flusssäure werden für alle hier untersuchten Elemente außer Kupfer die im Zertifikat tabellierten Gehalte erreicht. Bei der Bestimmung von Cadmium und Barium sind sogar Mehrbefunde zu erwarten.

Literaturverzeichnis

- [1] The Certification of the Mass Fractions of Arsenic, Cadmium, Nickel and Lead in Fine Dust (PM₁₀-like matrix). Certified Reference Material ERM[®]-CZ120. Hrsg.: Europäische Kommission. Luxemburg 2010. www.erm-crm.org/ERM_products/search/reports/CZ120.pdf
- [2] DIN EN 14902: Außenluftbeschaffenheit – Standardisiertes Verfahren zur Bestimmung von Pb/Cd/As/Ni als Bestandteil der PM₁₀-Fraktion des Schwebstaubes. Berlin: Beuth 2005.
- [3] VDI 2267 Blatt 1 Stoffbestimmung an Partikeln in der Außenluft – Messen der Elementkonzentration nach Filterprobennahme – Bestimmung von Al, As, Ba, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni, Pb, Sb, Se, Sn, Ti, V und Zn mithilfe von Grafitrohr-Atomabsorptionsspektrometrie. Berlin: Beuth 2012.

- [4] VDI 2267 Blatt 3 (Entwurf): Stoffbestimmung an Partikeln in der Außenluft – Aufschlussvarianten für Staubproben zur anschließenden Bestimmung der Massenkonzentration von Al, Sb, As, Pb, Cd, Ca, Cr, Co, Fe, K, Cu, Mg, Mn, Na, Ni, Se, V und Zn. Berlin: Beuth 2013.
- [5] *Lumpp, R.; Klein, M.; Bieber, E.; Bunzel, F.; Eckermann, U.; Frels, C.; Günther, W.; Hagemann, C.; Koch, C.; Olschewski, A.; Temme, C.*: Vergleich verschiedener Aufschlussverfahren zur Elementbestimmung in Schwebstaub und Staubniederschlag. *Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft* 72 (2012) Nr. 1/2, S. 64-71.