APPLICATION NOTE 44492

Schnelle und einfache Analyse von Böden und Sedimenten nach der Bodenschutzverordnung

Autoren: Sukanya Sengupta[1], Ralf Rohlfing[2], und Cristian Cojocariu[3]
[1]Thermo Fisher Scientific, Bremen, Germany [2]Laboratorien Dr. Döring, Bremen, Germany [3]Thermo Fisher Scientific, UK

Stichworte: iCAP-PRO X ICP-OES Duo, ICP-OES, ICP-MS, analytische Prüfung, schnelle Analyse, Bestimmungsgrenzen, Methodenvalidierung, Robustheit, Empfindlichkeit

Ziel

Nachweis der Leistungsfähigkeit des Thermo Scientific™ iCAP™ PRO X ICP-OES Duo Systems für die Analyse von Schwermetallen in Bodenproben auf der Grundlage der gesetzlichen Normen und Methoden in Deutschland und in der EU.

Einleitung

Die Bodenschutzgesetze in Deutschland wurden in den Jahren 1998-1999 in Form des Bundesbodenschutzgesetzes (BBodSchG) und der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) eingeführt.[1,2] Sie wurden mit dem Ziel verordnet, den Umweltschutz zu verbessern sowie für eine effektive Abfallwirtschaft und Recycling zu sorgen. Die Richtlinien schreiben die Überwachung von Spurenelementen in Böden vor, die die Gesundheit

von Mensch und Tier gefährden und langfristig zu einer Verschlechterung der Umweltbedingungen führen können. Daher ist die Bestimmung von Spurenelement-Konzentrationen in Böden von wesentlicher Bedeutung. Dieses betrifft sowohl landwirtschaftliche Flächen, Wälder und Gärten, als auch Baustellen, Spielplätze, sowie Brachflächen und kann fortlaufend oder zweckgebunden angewendet werden, wie z. B. bei der Erschließung von Grundstücken.

Bodenmessungen erfordern eine schnelle und robuste Analytik, die die notwendige Empfindlichkeit bietet. Optische Emissionsspektrometrie mittels induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-OES) ist ideal für solche Analysen. In dieser Applikationsnote wurde das iCAP PRO X ICP-OES Duo System verwendet, um drei Referenz Bodenproben mit bekannten Spurenelement

Zusammensetzungen (Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin; BAM), sowie zwei NIST Soil Standard Referenz Materialien (SRM) mit zertifizierten Gehalten zu bestimmen. Die zertifizierten Gehalte der BAM Bodenproben Referenzmaterialien wurden in einem umfassenden Ringversuch in verschiedenen analytischen Prüflaboren sowohl mit ICP-OES als auch mit ICP-MS ermittelt. Um die Zuverlässigkeit der Analysen mit dem iCAP PRO X ICP-OES Duo System und die Validität der entwickelten analytischen Methode zu vergleichen und zu demonstrieren, wurden die NIST Soil SRMs zusätzlich in dem Laboratorium Dr. Döring GmbH, Bremen, Deutschland, aufgeschlossen und dort mit einem Thermo Scientific™ iCAP™ RQ ICP-MS System analysiert.

Experimenteller Aufbau

Geräteparameter und Versuchsbedingungen

Ein iCAP PRO X ICP-OES Duo Gerät, im Axial-iFR-Modus, diente zur Durchführung von Messungen von 17 auslaugbaren Spurenelementen auf der Grundlage von DIN ISO 22036, DIN EN ISO 11885 (E 22) und DIN EN ISO 17294-2 (E 29).[3,4,5] Einzelheiten zur Konfiguration des Probeneinführungssystems und zu den Geräteparametern sind in Tabelle 1 aufgeführt. Es wurde ein für wässrige Proben geeignetes Probeneinführungssystem verwendet, bestehend aus einer Zyklon-Sprühkammer, einem konzentrischen Glaszerstäuber und einer Duo Fackel (Quartz), verwendet. Die automatische Probenzufuhr erfolgte mit einem ASX-560 Autosampler von Teledyne CETAC™ Technologies. Die Laufzeit pro Probe betrug ~2 Minuten, einschließlich Probenzufuhr und Spülzeiten.

Tabelle 1. Gerätekonfiguration und typische Betriebsparameter

Geräteparameter	Einstellungen
Pumpenschläuche	Sample: Tygon™ orange/white Drain: Tygon white/white
Sprühkammer	Glas-Zyklon
Zerstäuber	Konzentrischer Zerstäuber, Quartz
Center tube	2.0 mm (quartz)
Fackel	Quartz Duo Torch
Geschwindigkeit der Peristaltischen Pumpe (Analyse)	45 rpm
Zeit für die Probenzufuhr	25 s
Stabilisierungszeit	10 s
Spülzeit	30 s
Gasfluss am Zerstäuber	0.70 L·min^{-1}
Gasfluss - Hilfsgas	0.5 L·min^{-1}
Gasfluss - Kühlgas	12.5 L·min^{-1}
Plasmaleistung	1150 W
Wiederholungen	3
Wiederholungen	15 s Axial iFR

Probenvorbereitung

Alle Bodenproben und Referenzmaterialien wurden gemäß den Protokollen der DIN EN ISO 13657 Methode zur Untersuchung der auslaugbaren Fraktionen aufgeschlossen.[6] Ein Aliquot von 0,5 g homogenisiertem Probenpulver und 7 ml frisch zubereitetem Königswasser (35-37% HCl: 67% HNO_3 = 1:3, Fisher Chemical™ TraceMetal™ Grade acids, Fisher Scientific, UK) wurde in ein geschlossenes Gefäß gegeben und in einem ETHOS™ EASY SK10, Milestone Mikrowellensystem, aufgeschlossen. Die abgekühlten aufgeschlossenen Extrakte wurden aus den Behältern entnommen, gefiltert und auf ein Endvolumen von 100 ml aufgefüllt. Die endgültige Säurekonzentration in den analysierten Proben betrug 7% (v/v) Königswasser.

Standards und Referenzmaterial

Ein Blindwert und eine Reihe von Kalibrierstandards bis zu einer Konzentration von 10.000 µg·L^{-1} (10, 100, 1000 und 10.000 µg·L^{-1}) wurden in 7 % (v/v) Königswasser unter Verwendung von Einzel-Elementstandards (1.000 mg·L^{-1} und 10.000 mg·L^{-1}, SPEX CertiPrep™ Group, Metuchen, US) hergestellt.

Yttrium (1 mg·L^{-1}) wurde als interner Standard zu allen Proben, Kalibrierungsstandards und Blindproben hinzugefügt, um Matrixeffekte zu ermitteln und gegebenenfalls zu korrigieren.

In dieser Studie wurden zwei verschiedene, vom National Institute of Standards and Technology (NIST) herausgegebene, SRMs verwendet (Tabelle 2):

- NIST SRM 2709a Joaquin Soil (Baseline Trace Element Concentrations)
- NIST SRM 2781 Domestic Sludge.

Qualitätskontrolle

Um die analytische Präzision im zeitlichen Verlauf zu gewährleisten wurde eine Lösung, die alle relevanten Elemente in einer Konzentration von 200 µg·L^{-1} enthält und in der gleich sauren Matrix wie die Proben und Kalibrierungsstandards vorliegt, als Qualitätskontrollstandard (QC) verwendet, entsprechend den allgemeinen Empfehlungen regulierter Methoden (z. B. die DIN ESO ISO 11885:2009).

Tabelle 2. Echte zertifizierte Spurenelementkonzentrationen der beiden in dieser Studie verwendeten NIST Boden SRMs. Die Konzentrationswerte in den unverdünnten und verdünnten SRMs sind aufgeführt, um den Bereich aufzuzeigen, in dem die endgültigen Messungen mit dem iCAP PRO X ICP-OES Duo System durchgeführt wurden. Einheiten: 1 $mg \cdot kg^{-1} \approx 1000\ \mu g \cdot L^{-1}$

Element	Konzentrationen in NIST SRM 2709a Joaquin Soil ($mg \cdot kg^{-1}$)	200x verdünnt ($mg \cdot kg^{-1}$)	Element	Konzentrationen in NIST SRM 2781 Domestic Sludge ($mg \cdot kg^{-1}$)	200x verdünnt ($mg \cdot kg^{-1}$)
Ba	979	4.895	As	7.81	0.039
Cd	0.377	0.002	Cd	12.8	0.064
Co	12.8	0.064	Cr	202	1.01
Cr	130	0.65	Cu	627.8	3.139
Mn	529	2.645	Hg	3.68	0.018
Pb	17.3	0.087	Mo	46.6	0.233
Sb	1.55	0.008	Ni	80.2	0.401
V	110	0.55	Pb	200.8	1.004
			Se	16	0.08
			Zn	1273	0.039

Methodenvalidierung über Wiederfindung

Eine gängige Methode zur Sicherstellung der Methodenvalidität ist die Aufstockung einer Probenmatrix mit bekannten Konzentrationen von Analyten, um die Wiederfindungsraten der jeweiligen Elemente zu bewerten und somit die Genauigkeit der Ergebnisse zu beurteilen. In dieser Studie wurde eine Probe mit je 50 $\mu g \cdot L^{-1}$ (As, Cd, Co, Cu, Hg, Mo, Sb, Se, Sn, V, Zn) und 500 $\mu g \cdot L^{-1}$ (Ba, Mn, Ni, Pb, Zn) aufgestockt und mit der gleichen Methode analysiert, die auch für alle anderen Analysen in dieser Studie verwendet wurde.

Datenerfassung und Datenverarbeitung

Die Thermo Scientific™ Qtegra™ Intelligent Scientific Data Solution™ (ISDS) Software wurde zur Erstellung von LabBooks für die Probenanalyse, Datenerfassung, -verarbeitung und Berichterstattung verwendet.

Ergebnisse und Diskussion

Auswahl der Wellenlängen

Für alle Analyten wurden Wellenlängen mit störungsfreien Spektren und hohen Empfindlichkeiten ausgewählt, um die Berechnung der tatsächlichen Konzentrationen der jeweiligen Elemente in der analysierten Lösung zu gewährleisten (Tabelle 3).

Empfindlichkeit

Die (instrumentelle) Nachweisgrenze (LOD oder IDL) ist die niedrigste Konzentration eines Analyten in einer Testprobe, die zuverlässig von Null unterschieden werden kann.[3] Die Bestimmungsgrenze (LOQ) ist die kleinste Menge oder Konzentration eines Analyten in der Testprobe, die mit akzeptabler Präzision bestimmt werden kann. Um die Empfindlichkeit des Instruments und der Analysemethode zu bewerten, wurden diese beiden Parameter für alle Elemente wie folgt bestimmt[3]:

Gleichung 1 $\quad LOD = 3\ s_0$

Gleichung 2 $\quad LOQ = 3\ X_{LD} = 9\ s_0$

Dabei ist s_0 die Standardabweichung der von drei Messungen des Kalibrierungsblindwerts, wobei jeder Blindwert im Abschnitt Probenliste des Qtegra ISDS Software LabBook als “Average Blank” bezeichnet wird. Die LODs und LOQs für die Elemente sind in Tabelle 3 aufgeführt.

Tabelle 3. Liste der geeigneten Wellenlängen, Nachweisgrenzen (LOD) und Bestimmungsgrenzen (LOQ) für einzelne Elemente

Element	Wellenlänge (nm)	LOD ($\mu g \cdot L^{-1}$)	LOQ ($\mu g \cdot L^{-1}$)
As	189.042	1.73	5.19
Ba	455.403	0.05	0.15
Cd	214.438	0.05	0.15
Co	228.616	0.34	1.02
Cr	357.869	0.16	0.48
Cu	324.754	0.29	0.88
Hg	194.227	0.48	1.44
Mn	257.610	0.02	0.05
Mo	202.030	0.14	0.43
Ni	231.604	0.56	1.67
Pb	220.353	1.76	5.27
Sb	217.581	1.87	5.62
Se	196.090	2.12	6.36
Sn	189.989	0.51	1.52
Tl	190.856	1.20	3.61
V	292.464	0.33	0.99
Zn	213.856	0.61	1.84

Linearität

Für alle in dieser Studie untersuchten Elemente wurde ein linearer dynamischer Bereich zwischen 0 und 10.000 µg·L^{-1} erreicht, und alle endgültig gemessenen Lösungen wiesen Konzentrationen innerhalb dieses Bereichs auf. Die Kalibrierkurven für die verschiedenen Wellenlängen ergaben alle R^2-Werte zwischen 0,9999 oder besser über den gesamten Kalibrierbereich.

Genauigkeit und Robustheit

Die Genauigkeit und Robustheit der Methode wurde durch die Analyse von zwei relevanten NIST Soil Standard Referenz Materialien bewertet, die auf genau dieselbe Weise vorbereitet und analysiert wie die echten Bodenproben. Die berechneten Konzentrationen der einzelnen Elemente in den NIST Soil SRMs wurden mit den zertifizierten Werten verglichen. Die Wiederfindung lag für alle Elemente mit Ausnahme von Barium zwischen 85 und 104 % (Tabelle 4). Um eine bessere Wiederfindung von Barium zu erreichen, ist eine andere Aufschlussmethode mit anderen Reagenzien (höherer HNO_3 Gehalt oder Zusatz von HF) erforderlich. Das Gleiche gilt für die Daten von Laboratorien Dr. Döring. Die Wiederfindung für die meisten Elemente in den NIST Soil SRM (Tabelle 4) ist gut, mit einigen Ausnahmen für Cr und Mo. Dies ist auf unterschiedliche Aufschlussverfahren zurückzuführen.

Zusätzlich wurden die Wiederfindungsrate einer realen Bodenprobe, die mit 50 µg·L^{-1} oder 500 µg·L^{-1} der Zielelemente dotiert war, bestimmt. Auch hier lagen die Ergebnisse innerhalb des akzeptierten Bereichs von 80-120 % (Abbildung 1).

Tabelle 4. Gemessene Spurenelementkonzentrationen von zwei NIST Boden SRMs aus zwei verschiedenen Laboren und Techniken. Die Daten aus dem Labor von Thermo Fisher Scientific wurden mit einem iCAP PRO X ICP-OES Duo System unter Verwendung der in dieser Studie beschriebenen Methoden erfasst. Weitere Einzelheiten zu den Daten werden im Text erläutert. Einheiten: 1 mg·L^{-1} ≈ 1000 µg·L^{-1}

Element	Zertifizierter Wert (mg·kg^{-1})	In Labor 1 ermittelter Wert * (mg·kg^{-1})	Wiederfindung in Labor 1 (%)	In Labor 2 ermittelter Wert ** (mg·kg^{-1})	Wiederfindung in Labor 2 (%)
NIST SRM 2709a Joaquin Soil					
Ba	979	454.93	46	448.29	46
Cd	0.377	0.392	104	0.380	101
Co	12.8	12.0	94	12.4	97
Cr	130	111	85	76	58
Mn	529	490	93	545	103
Pb	17.3	17.3	100	12.1	70
Sb	1.55	1.35	87	1.23	79
V	110	94	85	80	73
NIST SRM 2781 Domestic Sludge					
As	7.81	7.7	98	8.0	103
Cd	12.8	11.8	92	12.6	99
Cr	202	176	87	172	85
Cu	627.8	610.2	97	651.6	104
Hg	3.68	3.5	94	4.22	115
Mo	46.6	39.8	85	24.9	53
Ni	80.2	73.0	91	72.9	91
Pb	200.8	174.8	87	199.9	100
Se	16	14	90	17	105
Zn	1273	1155	91	1218	96

*Werte wurden im Labor von Thermo Fisher Scientific, Bremen, Deutschland, ermittelt.
**Die Werte wurden mittels ICP-MS in den Laboratorien Dr. Döring, Bremen, Deutschland, ermittelt.

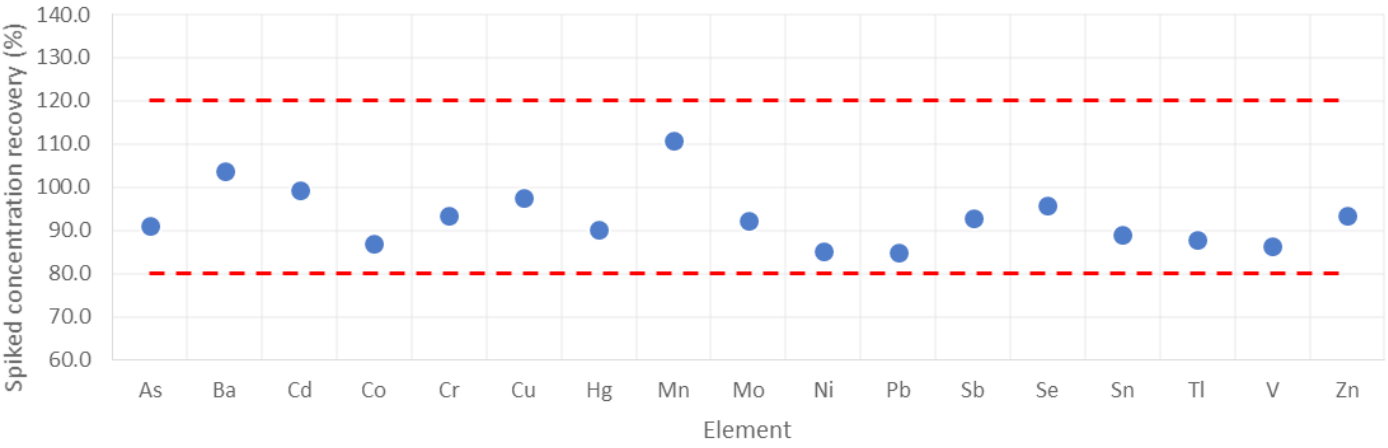

Abbildung 1. Wiederfindungen in Aufstockexperimenten in Bodenproben. Die gestrichelten Linien stellen das zulässige Wiederfindungsintervall (±20 %) dar, wie in der Methode DIN ESO ISO 11885:2009 angegeben.[3]

Matrixeffekte – Signalerhöhung bzw. Unterdrückung

Die Wiederfindungsrate des internen Standards (1 mg·kg^{-1} Yttrium) lag während der gesamten Versuchsdauer und in allen verschiedenen Arten von Proben zwischen 90 und 110 %. Dies zeigt, dass die Analysen frei von Matrixunterdrückung oder -erhöhung waren und genaue Daten lieferten.

Robustheitsvalidierung und Analyse realer Proben in analytischen Prüflaboren

Die in dieser Studie entwickelte Methode für die Analyse von Bodenproben muss für den Einsatz in analytischen Prüflaboren mit hohen Anforderungen an Probendurchsatz, Empfindlichkeit und Robustheit geeignet sein. Um die Eignung der entwickelten Methode zu verdeutlichen, wurde ein Langzeitexperiment über die Dauer eines typischen Arbeitstages durchgeführt. Dabei wurden die in Tabelle 1 beschriebenen Geräte- und Methodenparameter verwendet.

Alle in diesem Test analysierten Proben und Standards wurden mit 1 mg·L^{-1} Yttrium als internem Standard versetzt. Der Aufbau des Experiments begann mit mindestens drei Kalibrierungsblindmessungen und einem Kalibrierstandard-Block. Darauf folgte die Analyse der beiden SRMs und eines 200 µg·L^{-1} QC-Standards. Danach wurden echte Proben gemessen, und der QC-Standard wurde nach jeweils 10 unbekannten Proben wiederholt.

Der interne Standard blieb während des gesamten Experiments stabil und erzielte ausgezeichnete Wiederfindungen zwischen 90 und 110 % (Abbildung 2). Die QC-Wiederfindungen lagen zwischen 95 und 120 % während 8 Stunden kontinuierlicher Analyse (Abbildung 3). Die Wiederfindungsraten der Konzentrationen der Proben während des Stabilitätsexperiments liegen zwischen 90 und 110 %, was die hohe Robustheit der Methode und der Analysen über die Dauer eines typischen Arbeitstages beweist (Abbildung 4).

Die Spurenelement-Zusammensetzungen von drei Bodenproben, die mit derselben Methode analysiert wurden, sind in Tabelle 5 dargestellt. Die als “Messwert, diese Studie” fett gedruckten Werte sind die Daten, die in der aktuellen Studie mit einem iCAP PRO X ICP-OES Duo System erfasst wurden. Diese zertifizierten Proben wurden in der Vergangenheit im Rahmen eines Ringversuchs auch in mehreren anderen Laboren sowohl mit ICP-OES als auch mit ICP-MS analysiert; die Durchschnittswerte aller von den teilnehmenden Laboren erzielten Ergebnisse für jedes Element sind in Tabelle 5 als zertifizierte Werte aufgeführt.

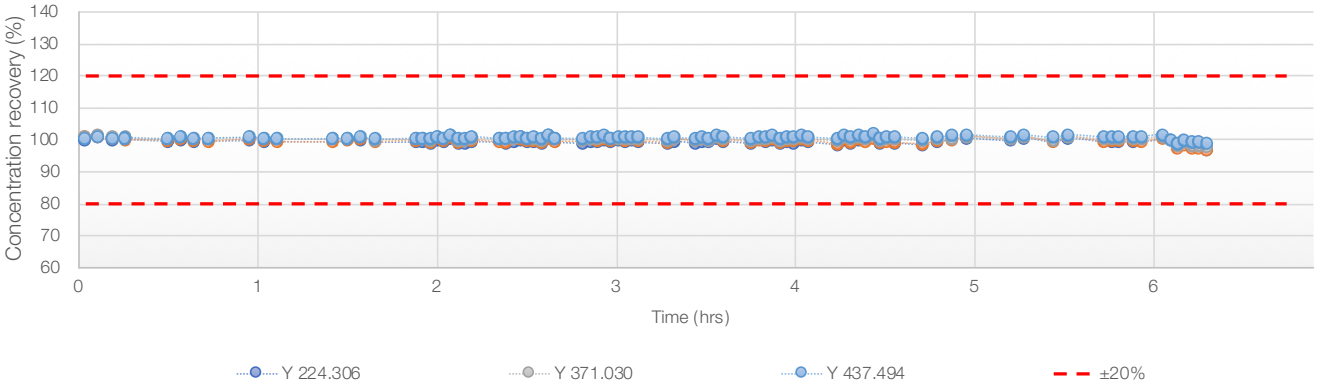

Abbildung 2. Wiederfindung des internen Standards in realen Proben während des Robustheitstests.

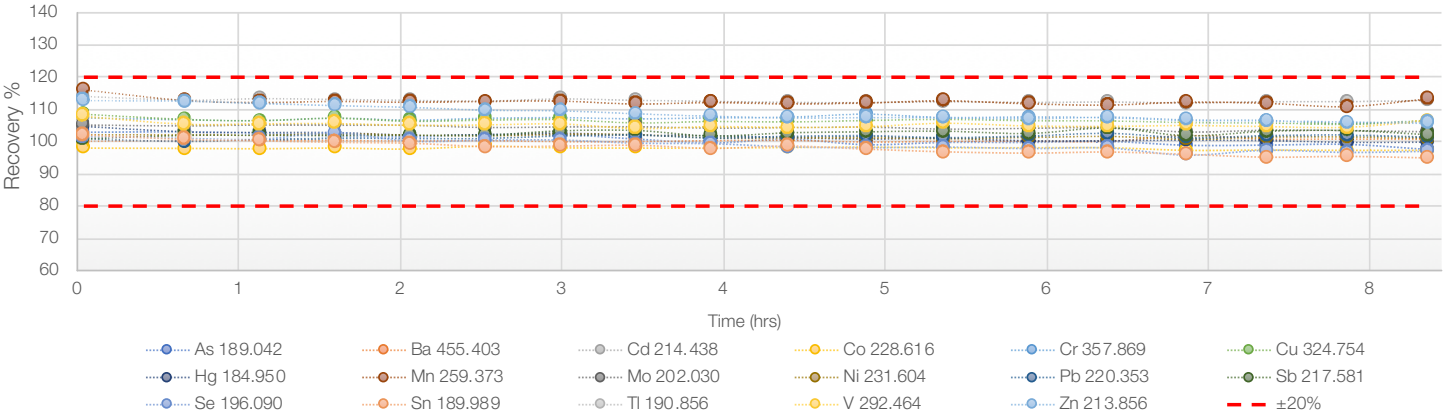

Abbildung 3. Wiederfindung für alle Analyten im QC Standard (Continuous Calibration Verification) für einen Gehalt von 200 µg·L⁻¹. Die gestrichelten Linien stellen das akzeptierte Erholungsintervall (±20 %) dar.

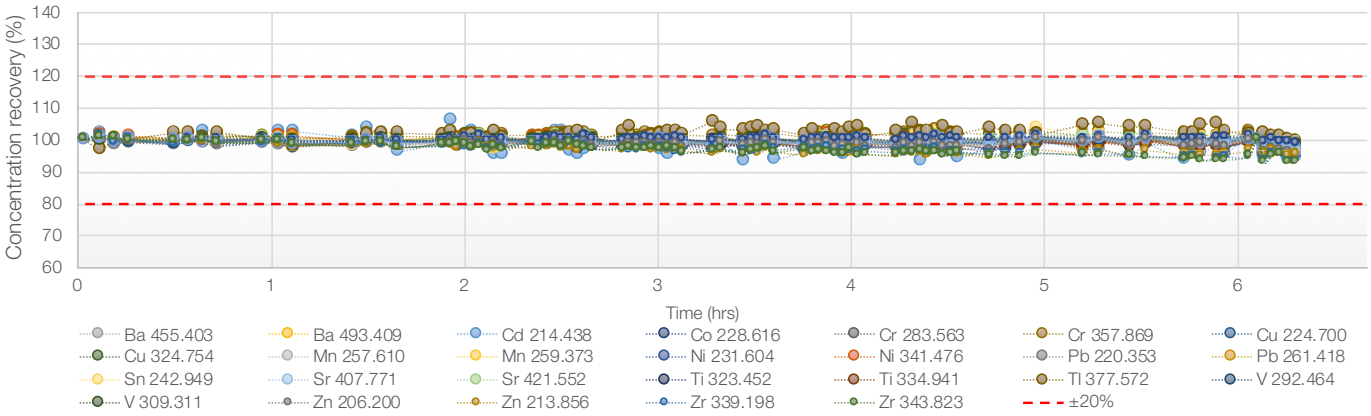

Abbildung 4. Berechnete Konzentrationen (als prozentuale Abweichung von den erwarteten Werten) für alle Analyte in einer gepoolten Bodenprobe in einer Analyse über die gesamte Dauer eines typischen Arbeitstages.

Tabelle 5. Zertifizierte und gemessene Spurenelementkonzentrationen von realen Bodenproben mit ICP-OES und ICP-MS Techniken. Die ausschließlich für diese Studie erhobenen Daten (fett gedruckt) wurden mit einem iCAP PRO X ICP-OES Duo System gemessen. Nicht analysiert (NA); Analysiert, aber nicht nachgewiesen (ND).

Element	Konzentration ($mg \cdot kg^{-1}$)								
	Sample 48679/17			Sample 48680/17			Sample 61203/17 (AB07)		
	Zertifizierter Wert*	Gemessener Wert, diese Studie	Laboratorien Dr. Döring Lab**	Zertifizierter Wert*	Gemessener Wert, diese Studie	Laboratorien Dr. Döring Lab**	Zertifizierter Wert*	Gemessener Wert, diese Studie	Laboratorien Dr. Döring Lab**
As	22.2	**21.5**	21.95	17.8	**17.7**	17.2	147	**132**	147
Ba	NA	**456**	NA	ND	**433**	ND	732	**573**	684
Cd	5.7	**6.0**	5.7	4.6	**6.0**	4.6	10.9	**9.6**	11.96
Cr	129.7	**149.0**	123.5	119	**127.2**	111	324	**362**	324
Cu	105.5	**110.4**	109	84.9	**82.9**	86.1	619	**624**	546
Hg	7.1	**ND**	7.1	5.6	**5.3**	5.7	0.13	**<DL**	0.1
Mn	NA	**489**	NA	NA	**484**	NA	NA	**2733**	ND
Mo	NA	**7.9**	NA	NA	**6.0**	NA	3.89	**3.6**	4.3
Ni	40.6	**40.8**	38.8	38.7	**36.2**	35.8	300	**289**	271
Pb	146.7	**143.8**	143.5	120.5	**110.2**	117.5	93.8	**83.2**	103
Sb	NA	**2.0**	NA	NA	**3.3**	NA	3.7	**3.1**	3.0
Se	NA	**<DL**	NA	NA	**<DL**	NA	2.4	**<DL**	1.8
Sn	NA	**29.0**	NA	NA	**11.2**	NA	36.2	**35.6**	46.5
Tl	NA	**NA**	NA	NA	**<DL**	NA	NA	**NA**	NA
V	28.6	**NA**	22.2	32.4	**37.6**	25.4	NA	**NA**	NA
Zn	361.4	**369**	358	298.8	**282.4**	292	2370	**2061**	2085

*Zertifizierte Werte sind die Durchschnittswerte aus Ringversuchen nach DIN 38402-A 45[7], Daten aus iCAP RQ ICP-MS-Analyse.
**Daten von Laboratorien Dr. Döring, aus einer früheren Studie, bei der sowohl ICP-MS- als auch ICP-OES-Techniken verwendet wurden.

Schlussfolgerungen

Die in diesen Versuchen erzielten Ergebnisse belegen die Eignung des iCAP PRO X ICP-OES Duo Systems für die Boden- und Sedimentanalyse gemäß den DIN EN ISO-Methoden 11885, 22036 und 17294. Die Ergebnisse zu den BAM Ringversuchsproben waren vergleichbar mit den Ergebnissen aus früheren Veröffentlichungen. Die Ergebnisse des iCAP PRO X ICP-OES Duo Systems stimmten mit den Daten anderer Systeme und Techniken überein, was die Eignung dieser Technologie für die Multielementanalyse von Umweltproben belegt.

Es wurden typische Leistungsparameter bewertet, die in analytischen Prüflaboren erwartet werden, und die Ergebnisse sind im Folgenden zusammengefasst:

- Für alle Analyten wurde ein linearer dynamischer Bereich von 0-10.000 $\mu g \cdot L^{-1}$ erreicht, der für den genauen Nachweis von Spurenelementen in hohen und niedrigen Konzentrationen in Bodenproben entscheidend ist.

- Für alle Zielelemente wurde im Axial-iFR-Modus eine hervorragende Empfindlichkeit (niedriger $\mu g \cdot L^{-1}$ - oder ppb-Bereich) erzielt, die den Empfindlichkeitsanforderungen für die Bodenanalyse gemäß den bestehenden DIN-Methoden entspricht.

- Die Wiederfindungswerte (85-104 %), die bei der SRM-Probenanalyse mit dem iCAP PRO X ICP-OES Duo System erzielt wurden, lagen innerhalb der erwarteten Grenzen (±20 %), was die Genauigkeit der Methode belegt. Die laborübergreifende Genauigkeit wurde anhand von Daten des iCAP PRO X ICP-OES Duo Systems im Vergleich zu ICP-MS-Daten der Laboratorien Dr. Döring getestet und verifiziert.

- Die ausgezeichnete Robustheit und Reproduzierbarkeit des Systems wurde über einen typischen 8-Stunden-Arbeitstag mit stabilen Wiederfindungen der Analyten sowohl in QC-Standards als auch in realen Bodenproben nachgewiesen.

- Die schnelle Analyse aller Zielelemente mit ~2 Minuten pro Probe ermöglicht einen hohen Probendurchsatz, ohne dass der Benutzer über längere Zeiträume eingreifen muss, was das iCAP PRO X ICP-OES Duo System zu einer idealen Option für analytische Prüflabore macht.

thermo scientific

Referenzen

1. Bannick, C. G.; Bertram, H.U.; Embert, G.; Rölleke, F. J. (2000): Bodenschutz und Abfallverwertung – Rechtvorschriften und Technische Regelwerke. 574 p.
2. Federal Soil Protection Act of 17 March 1998 (BBodSchG). Federal Law Gazette I 1998 p. 502.
3. DIN ESO ISO 11885:2009 - Water quality - Determination of selected elements by inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES) (ISO 11885:2007). Publication date - 2009-09. Original language – German.
4. DIN ISO 22036:2009-06 - Soil quality - Determination of trace elements in extracts of soil by inductively coupled plasma - atomic emission spectrometry (ICP-AES) (ISO 22036:2008). Original language – German.
5. DIN EN ISO 17294-2:2017-01 - Water quality - Application of inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) - Part 2: Determination of selected elements including uranium isotopes (ISO 17294-2:2016); German version EN ISO 17294-2:2016. Publication date - 2017-01, Original language – German.
6. DIN EN 13657:2003-01 - Characterization of waste - Digestion for subsequent determination of aqua regia soluble portion of elements in waste; German version EN 13657:2002.
7. DIN 38402-45:2014-06 - German standard methods for the examination of water, wastewater and sludge - General information (group A) - Part 45: Interlaboratory comparisons for proficiency testing of laboratories (A 45).

Weitere Informationen finden Sie unter
thermofisher.com/ICP-OES

ThermoFisher SCIENTIFIC

For Research Use Only. Not for use in diagnostic procedures. © 2021 Thermo Fisher Scientific Inc. All rights reserved. Teledyne CETAC Technologies is a trademark of Teledyne Instruments Inc. Tygon is a trademark of Saint-Gobain Corporation. ETHOS is a trademark of Milestone Srl. SPEX CertiPrep is a trademark of the SPEX CertiPrep Group LLC. All other trademarks are the property of Thermo Fisher Scientific and its subsidiaries. **AN44492-DE 1021M**