

Routineanalyse angereicherter Lebensmittel mit dem Agilent 7800 ICP-MS

Einfache und robuste quantitative Analyse
von 28 Elementen in Lebensmittelaufschlüssen
unter Anwendung des Heliummodus



Autoren

Shuofei Dong, Jenny Nelson
und Michiko Yamanaka

Agilent Technologies

Einführung

Der weltweite Umsatz mit angereicherten Lebensmitteln beläuft sich auf jährlich mehrere Milliarden Dollar. Der Markt für Säuglingsnahrung ist weiter im Wachstum begriffen, insbesondere in Asien-Pazifik⁽¹⁾. Produkte wie etwa Mahlzeitenersatzgetränke, die zur lukrativen Diätindustrie gehören, sind weiterhin beliebt⁽²⁾. Zum Schutz der Verbraucher, sowohl hinsichtlich des Gehalts an essentiellen Nährstoffen als auch vor schädlichen Inhaltsstoffen, unterliegen angereicherte Lebensmittel verschiedenen Richtlinien. Beispielhafte Richtlinien für Säuglingsnahrung sind GB 10765 (China), 21 CFR 107 (USA) und die Verordnung 2016/127/EG der EU-Kommission^(3–5). In diesen Richtlinien sind üblicherweise Mindest- und Maximalkonzentrationen für Mineralien wie z. B. Na, K, Cu, Mg, Fe, Zn, Mn, Ca, P, I, Cl und Se angegeben. Der nationale chinesische Lebensmittelsicherheitsstandard für Säuglingsnahrung gibt zudem eine Maximalkonzentration von 0,15 mg/kg für Pb an⁽³⁾. Abhängig von der Art der Lebensmittel müssen Produzenten zusätzlich Richtlinien einhalten, die Maximalkonzentrationen für potenziell schädliche Spurenelemente wie As, Cd, Hg, Pb, Ni, Sn und Cr angeben^(6–8).

Da Verunreinigungen mit hoher Wahrscheinlichkeit nur in geringen Konzentrationen in Lebensmittelproben enthalten sind, wird für die Applikation eine analytische Methode benötigt, die niedrige Nachweisgrenzen für diese Elemente erreichen kann. Die ICP-MS ist eine schnelle Multielementanalysetechnik mit der nötigen Empfindlichkeit und einem dynamischen Bereich, der für die Messung von Nährstoffen und Verunreinigungen in angereicherten Lebensmittelprodukten geeignet ist. Seit den jüngsten Verbesserungen in Bedienung und Robustheit wird die ICP-MS zunehmend für die Routineanalyse von Lebensmitteln mit hohem Probendurchsatz eingesetzt.

Um präzise Ergebnisse zu gewährleisten, nutzt das Agilent 7800 ICP-MS einen universellen Heliumkollisionsmodus zur Vermeidung von polyatomaren Interferenzen. Der 10 Größenordnungen umfassende lineare dynamische Bereich des Geräts erleichtert zudem das Erstellen der Methode, da Haupt- und Spurenelemente in ein und demselben Lauf gemessen werden können, was Wiederholmessungen aufgrund von Ergebnissen über dem zulässigen Bereich reduziert. Für Proben mit einer Salzfracht zwischen 0,5 und 3 % wendet das 7800 ICP-MS zusätzlich die High Matrix Introduction-Technologie (HMI) von Agilent an, welche die Verarbeitung von Proben mit hohem Matrixanteil durch Aerosolverdünnung ermöglicht.

Methoden zur Bestimmung mehrerer Elemente in angereicherten Lebensmitteln können von den Standardmethoden abgeleitet werden (9–11).

Diese Studie beschreibt die Anwendung des Agilent 7800 ICP-MS und seinem automatischen Probengebers SPS 4 für die Analyse von Haupt- und Spurenelementen in angereicherten Lebensmittelproben nach Mikrowellenaufschluss. Die Qualität der Daten wurde durch die Messung eines Standard-Referenzmaterials (SRM) einer Nahrungsformulierung für Säuglinge/Erwachsene überprüft.

Experimentelles

Proben und Reagenzien

Alle Proben wurden direkt in Supermärkten in den USA und China gekauft. Sie umfassten zwei Mahlzeitenersatzgetränke und drei Säuglingsnahrungsprodukte aus dem Westen der USA sowie vier Säuglingsanfangsnahrungsprodukte aus dem nördlichen China. Zur Validierung der analytischen Methode wurde das milchbasierte SRM NIST 1849a Infant/Adult Nutritional Formula I verwendet.

Für den Mikrowellenaufschluss und die Standard-/Probenvorbereitung wurde Salpetersäure ($\geq 65\%$, Sigma-Aldrich) eingesetzt. Alle Verdünnungen wurden mit deionisiertem Wasser (DIW) mit $18,2 \text{ M}\Omega\text{-cm}$ (Millipore, Bedford, MA, USA) angesetzt.

Standards

Kalibrierstandards für 28 Elemente wurden aus Multielement-Kalibrierstandards hergestellt. Für die Verdünnung wurde 5 % (v/v) Salpetersäurelösung oder DIW verwendet. Die folgenden Standards von Agilent wurden eingesetzt: Multielement-Kalibrierstandard 2A

(Best.-Nr.: 8500-6940), Multielement-Kalibrierstandard 3 (Best.-Nr.: 8500-6948), Umwelt-Kalibrierstandard (Best.-Nr.: 5183-4688), Multielement-Kalibrierstandard 4B (Best.-Nr.: 8500-6942) und Einzelement-Kalibrierstandard Phosphor (Best.-Nr.: 5190-8428). Jod-Standardlösung (GSB 04-2834-2011, 1000 ppm in H_2O) des General Research Institute for Nonferrous Metals, China, wurde mit DIW verdünnt (12). Jeder Satz Kalibrierstandards wurde separat angesetzt.

Die interne Standardlösung (ISTD) mit Sc, Ge, Rh, In, Tb und Bi wurde aus der internen Standardmischung von Agilent (Best.-Nr.: 5188-6525) und 5 % (v/v) Salpetersäurelösung hergestellt.

Probenvorbereitung

Etwa 0,2 g jeder Probe und des NIST 1849a SRM wurden unter Anwendung des in Tabelle 1 beschriebenen Mikrowellen-Aufschlussprogramms (CEM, Mars 6) in 5 ml HNO_3 aufgeschlossen. Die vollständig aufgeschlossenen Proben wurden dann mit DIW auf 50 ml verdünnt. Alle Proben und das NIST SRM wurden dreifach angesetzt.

Tabelle 1. Mikrowellen-Aufschlussprogramm.

Leistung (W)	Temperatur ($^{\circ}\text{C}$)	Anstiegszeit (Min.)	Haltezeit (Min.)	Abkühlzeit (Min.)
100	50	15	15	-
1800	210	15	20	30

Geräte

Die Analysen wurden mit einem standardmäßigen Agilent 7800 ICP-MS, ausgestattet mit dem ORS⁴-Zellsystem der vierten Generation zur effektiven Vermeidung polyatomarer Interferenzen im Heliummodus (He-Modus), durchgeführt. Das ORS⁴ kontrolliert Molekül-basierte-Interferenzen unter Anwendung von Helium als Kollisionsgas, wobei die Transmission aller matrixbasierten Molekülionenstörungen entsprechend minimiert wird. Kleinere, schnellere Analytionen werden durch die kinetische Energie Diskriminierung (KED) von größeren, langsameren Störionen getrennt. Alle Elemente außer Se wurden im He-Modus mit einer Flussrate von 5 ml/min gemessen. Se wurde im High Energy He-Modus (HEHe-Modus) bei einer Zellgasflussrate von 10 ml/min gemessen. Das 7800 ICP-MS wurde mit dem Standard-Probenaufgabesystem bestehend aus einem konzentrischen MicroMist-Glaszerstäuber, Quarz-Zerstäuber kammer, Quarzfackel mit Injektor von 2,5 mm ID und Nickel-Interface-Konen ausgestattet.

Der in dieser Studie verfolgte Ansatz zur Probenvorbereitung führte zu fertigen Lösungen mit einer Salzfracht von weniger als 0,5 %, sodass diese Proben direkt auf dem 7800 ICP-MS gemessen werden konnten. Für Proben mit höherem Salzgehalt erlaubt das HMI-System die routinemäßige Messung von Proben mit einer Salzfracht von bis zu 3 %.

Das ICP-MS wurde unter Anwendung der Autotuning-Funktionen der ICP-MS MassHunter-Software optimiert. Als Probenaufgabesystem wurde ein automatischer Probengeber SPS 4 von Agilent verwendet. Die Betriebsbedingungen des Geräts sind in Tabelle 2 aufgeführt.

Tabelle 2. Betriebsbedingungen des 7800 ICP-MS.

Parameter	Einstellung
HF-Leistung (W)	1550
Tiefe derProbenerfassung (mm)	8
Zerstäubergas (l/min)	1,16
Linseneinstellung	Autotune
Heliumgasflussrate (ml/min)	5 (10 für Se)
KED (V)	5,0

Ergebnisse und Diskussion

Kalibrierung, Nachweisgrenzen (DLs) und Methoden-DLs

Abbildung 1 zeigt die linearen Kalibrierkurven für repräsentative Elemente (³⁹K, ⁶³Cu, ⁷⁸Se und ²⁰²Hg) aus dem gesamten Massenbereich. Die analytischen Nachweisgrenzen (Detection Limits, DLs) und Hintergrundäquivalenzkonzentrationen (Background Equivalent Concentrations, BECs) sind in Tabelle 3 angegeben. Die externen, aus der Wiederholmessung von Aufschluss-Blindproben (n = 12) gewonnenen Methoden-Nachweisgrenzen (MDLs) und -Quantifizierungsgrenzen (Method Limits of Quantification, MLOQs) sind ebenfalls aufgeführt. Alle LOQs liegen unter den in GB 5009.268 angegebenen Grenzwerten (10).

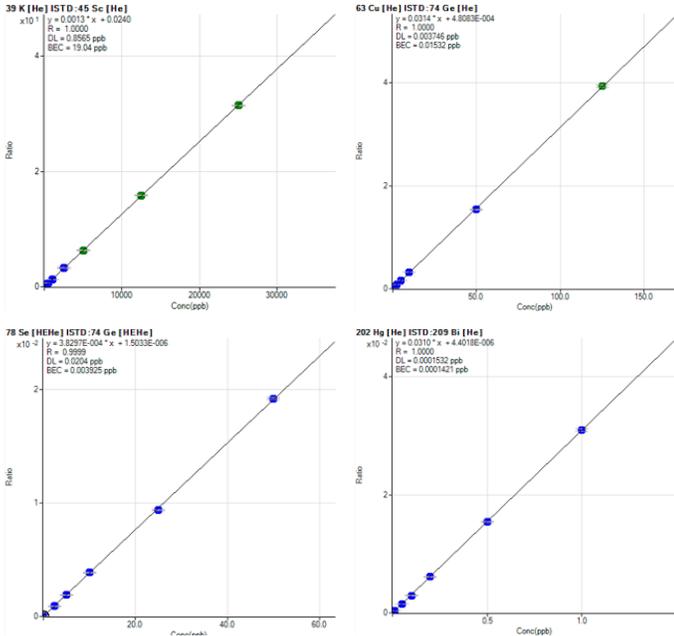


Abbildung 1. Kalibrierkurven für ³⁹K, ⁶³Cu, ⁷⁸Se und ²⁰²Hg.

Tabelle 3. DLs, BECs, MDLs und Methoden-LOQs.

	Analytisch (in Lösung)		Methode (in Lebensmitteln)	
	DL (µg/l)	BEC (µg/l)	MDL (mg/kg)	MLOQ (mg/kg)
11 B	0,293	0,333	0,023	0,077
23 Na	0,146	0,955	0,243	0,801
24 Mg	0,134	0,081	0,112	0,369
27 Al	0,301	0,404	0,418	1,381
31 P	1,62	19,2	1,350	4,455
39 K	0,857	19,0	0,479	1,582
44 Ca	2,66	1,47	0,572	1,888
51 V	0,0013	0,0005	0,001	0,002
52 Cr	0,0202	0,0271	0,012	0,041
55 Mn	0,0082	0,0051	0,009	0,028
56 Fe	0,0340	0,3624	0,590	1,946
59 Co	0,0014	0,0004	0,0006	0,0020
60 Ni	0,0173	0,0873	0,005	0,016
63 Cu	0,0039	0,0158	0,006	0,019
66 Zn	0,0486	0,1105	0,140	0,462
75 As	0,0132	0,0050	0,001	0,004
78 Se	0,0155	0,0030	0,002	0,008
88 Sr	0,0284	0,1000	0,003	0,010
97 Mo	0,0050	0,0030	0,003	0,009
111 Cd	0,0010	0,0005	0,0001	0,0004
118 Sn	0,0027	0,0049	0,003	0,008
121 Sb	0,0024	0,0005	0,001	0,003
127 I	0,0269	0,0393	0,047	0,155
135 Ba	0,0144	0,0055	0,004	0,013
201 Hg	0,0017	0,0011	0,0001	0,0003
205 Tl	0,0002	0,0012	0,0001	0,0003
208 Pb	0,0011	0,0069	0,002	0,005
238 U	0,00006	0,00002	0,00004	0,00014

ISTD-Wiederfindungstest

Im Rahmen des sechsstündigen ISTD-Wiederfindungstests wurden 140 Lösungen analysiert. Wie in Abbildung 2 dargestellt, lagen alle ISTD-Wiederfindungsmessungen für alle sechs internen Standards innerhalb der Grenzen von ± 20 % (gekennzeichnet durch die rot gepunktete Linie). Die Ergebnisse demonstrieren die ausgezeichnete Stabilität und Toleranz gegenüber der Matrix des 7800 ICP-MS. Es gab keine signifikante Signaldrift während der Sequenz und keine Divergenz der Signale für ISTD-Elemente im unteren und oberen Massenbereich. Der Wiederfindungstest zeigt, dass das Plasma die unterschiedlichen Probenmatrices erfolgreich aufschließen konnte. Des Weiteren ist während der Sequenz keine signifikante Matrixablagerung auf dem Interface aufgetreten.

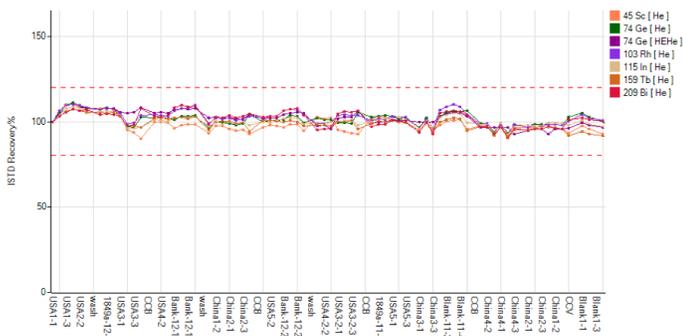


Abbildung 2. ISTD-Stabilität während der Analyse von insgesamt 140 Lösungen, gemessen über einen Zeitraum von 6 Stunden. Die ISTD-Wiederfindungen für alle Proben wurden auf den Kalibrations-Blindwert normalisiert.

SRM-Wiederfindungen

Zur Bestimmung der Genauigkeit der Methode wurden 13 Elemente in einem Aufschluss des NIST 1849a Infant/Adult Nutritional Formula I SRM (milchbasiert) mit dem 7800 ICP-MS im Heliummodus gemessen. Tabelle 4 zeigt für alle Elemente eine ausgezeichnete Übereinstimmung der mittleren gemessenen Konzentrationen mit den zertifizierten Werten; alle mittleren Wiederfindungen lagen innerhalb von $\pm 10\%$ des erwarteten Werts.

Tabelle 4. Daten der mittleren Wiederfindung für die 13 im Nahrungsformulierungs-SRM des NIST enthaltenen Elemente.

	Zertifizierte Massenfraktionswerte	Messwerte		
		Mittelwert	RSD (n = 6)	Wiederfindung
(mg/kg)		(%)		
Calcium (Ca)	5253 \pm 51	5278	0,6	101
Kupfer (Cu)	19,78 \pm 0,26	19,58	0,2	99
Chrom (Cr)	1,072 \pm 0,032	1,124	1,2	105
Jod (I)	1,29 \pm 0,11	1,34	0,3	104
Eisen (Fe)	175,6 \pm 2,9	175,3	0,7	100
Magnesium (Mg)	1648 \pm 36	1653	0,1	100
Mangan (Mn)	49,59 \pm 0,97	49,15	0,5	99
Molybdän (Mo)	1,707 \pm 0,040	1,706	0,8	100
Phosphor (P)	3990 \pm 140	3890	0,5	98
Kalium (K)	9220 \pm 110	9279	0,3	101
Selen (Se)*	0,812 \pm 0,029	0,842	2,1	104
Natrium (Na)	4265 \pm 83	4268	0,1	100
Zink (Zn)	151,0 \pm 5,6	153,7	0,5	102

*Se wurde im High Energy He-Modus (HEHe-Modus) gemessen.

Spike-Wiederfindungstest für regulierte Elemente

Zu den sieben am häufigsten regulierten Elementen in Lebensmitteln zählen As, Cd, Hg, Pb, Ni, Sn und Cr. Zur Überprüfung der Genauigkeit der Methode für die tatsächliche Probenanalyse wurde für die sieben Elemente ein Wiederfindungstest mit versetzten Proben (Spike-Wiederfindungstest) durchgeführt. Drei Säuglingsnahrungsprodukte, eines aus China und zwei aus den USA, wurden in zwei Konzentrationen mit diesen Elementen versetzt, wie in Tabelle 5 angegeben. Die Wiederfindungen für alle Elemente bei allen Konzentrationen bewegten sich zwischen 95 und 109 %, was demonstriert, dass das 7800 ICP-MS all diese regulierten Elemente mit hoher Präzision analysieren kann.

Tabelle 5. Spike-Wiederfindungen für regulierte Metallelemente in drei Proben von Säuglingsnahrungsprodukten.

		Proben von Säuglingsanfangsnahrungsprodukten						
		CHN-4		USA-3		USA-4		
	Zugesetzte Menge ($\mu\text{g/l}$)		Spike-Wiederfindung (%)					
	A	B	A	B	A	B	A	B
Cr	100	250	104	101	105	101	102	102
Ni	100	250	108	100	109	101	106	101
As	100	250	103	101	104	102	103	102
Cd	100	250	103	100	103	101	104	101
Sn	0,5	1	95	100	99	102	103	96
Hg	0,1	1	103	97	102	98	100	95
Pb	100	250	99	101	98	101	96	98

Quantitative Analyse gekaufter Produkte

Das 7800 ICP-MS wurde zur Analyse von zwei Mahlzeitenersatzgetränken und drei Säuglingsnahrungsprodukten aus den USA (Tabelle 6) sowie vier Säuglingsnahrungsprodukten aus China (Tabelle 7) eingesetzt. Die quantitativen Ergebnisse für potenziell toxische Elemente wie As, Cd, Hg, Pb, Ni, Sn und Cr lagen weit unterhalb der in den Richtlinien vorgeschriebenen Grenzwerte (6–8). Die Konzentrationen der für Säuglingsnahrung vorgeschriebenen Mineralstoffe und Nährelemente wie Na, K, Ca, Mg, Fe, Zn, Mn, P und Se lagen innerhalb der in den Richtlinien angegebenen Bereiche.

Tabelle 6. Quantitative Daten für zwei Mahlzeitenersatzproben und drei Säuglingsanfangsnahrungsproben. n. z.: nicht zutreffend.

	Proben von Säuglingsanfangsnahrungsprodukten						Proben von Mahlzeitenersatzprodukten			
	USA-1		USA-2		USA-3		USA-4		USA-5	
	MW (mg/kg)	RSD (% , n = 3)	MW (mg/kg)	RSD (% , n = 3)	MW (mg/kg)	RSD (% , n = 3)	MW (mg/kg)	RSD (% , n = 3)	MW (mg/kg)	RSD (% , n = 3)
B	0,450	4,3	0,881	0,3	1,02	0,8	0,149	3,4	0,174	4,1
Na	1366	0,8	1572	0,6	1336	0,8	736,6	1,4	671,4	0,6
Mg	385,7	0,4	503,4	0,9	557,8	0,6	427,0	0,1	407,5	0,5
Al	0,527	5,3	4,55	1,3	2,02	1,4	2,77	1,4	0,834	1,0
P	2115	0,2	6085	0,2	2510	0,3	1247	0,3	1062	0,5
K	5633	0,4	7510	0,2	6102	0,4	2101	0,5	1423	0,5
Ca	3990	0,4	9550	1,2	4358	0,2	1881	0,2	1312	0,2
V	0,002	5,3	0,063	2,4	0,013	1,2	0,007	6,0	0,004	1,9
Cr	< MDL	n. z.	0,121	0,4	< MDL	n. z.	0,135	0,2	0,150	0,9
Mn	1,23	0,3	0,858	0,1	1,35	0,8	2,33	0,7	3,21	0,3
Fe	90,93	0,7	97,23	0,4	107,3	0,2	21,90	0,4	21,19	0,3
Co	0,004	4,7	0,007	4,1	0,013	1,6	0,003	1,2	0,002	1,2
Ni	< MDL	n. z.	0,045	0,5	0,075	1,1	0,024	1,3	0,012	1,2
Cu	4,91	0,2	3,46	0,5	4,21	0,4	2,40	0,5	2,38	0,5
Zn	48,51	0,6	39,03	0,8	60,05	0,8	43,02	0,4	19,78	0,2
As	0,007	11,3	0,005	12,4	0,004	1,9	0,003	1,3	0,002	3,8
Se	0,249	2,9	0,176	1,4	0,287	1,0	0,305	2,4	0,107	2,7
Sr	4,62	0,4	4,79	1,6	2,36	0,4	0,855	0,1	1,30	0,3
Mo	0,193	0,8	0,053	0,6	0,361	0,8	0,126	0,1	0,091	0,9
Cd	0,003	3,6	0,008	5,3	0,002	3,9	0,001	2,3	0,002	0,6
Sn	0,106	0,4	0,272	0,8	0,004	5,2	0,001	6,8	< MDL	n. z.
Sb	0,002	13,7	0,002	8,9	0,001	7,2	0,001	6,0	0,001	2,1
I	1,37	1,1	0,868	0,8	1,25	0,8	0,149	0,8	0,166	0,8
Ba	0,098	1,8	0,346	1,0	0,249	1,0	0,130	0,5	0,701	0,8
Hg	0,0002	45,2	0,0001	25,0	0,0003	14,6	< MDL	n. z.	< MDL	n. z.
Tl	0,002	9,5	0,003	1,0	0,002	4,6	0,0003	4,2	0,0002	2,4
Pb	0,004	3,3	0,006	0,1	0,014	1,0	0,002	0,3	0,002	3,6
U	0,001	1,9	0,022	0,7	0,004	0,6	0,003	0,4	0,001	0,7

Tabelle 7. Quantitative Daten für vier Proben chinesischer Säuglingsanfangsnahrung. n. z.: nicht zutreffend.

	Proben von Säuglingsanfangsnahrungsprodukten							
	CHN-1		CHN-2		CHN-3		CHN-4	
	MW (mg/kg)	RSD (% , n = 3)	MW (mg/kg)	RSD (% , n = 3)	MW (mg/kg)	RSD (% , n = 3)	MW (mg/kg)	RSD (% , n = 3)
B	0,694	2,4	0,967	2,0	0,505	3,9	0,551	5,4
Na	2117	0,8	1417	0,1	1560	0,8	1533	0,7
Mg	784,4	0,1	541,8	0,8	504,0	0,7	530,4	0,4
Al	1,96	1,4	1,69	1,2	2,60	0,1	1,22	3,3
P	4188	0,1	3983	0,4	4304	0,8	4497	0,2
K	7028	0,1	6275	0,6	7042	0,2	7668	0,4
Ca	6111	0,1	5667	0,2	6065	0,2	6812	0,4
V	0,004	3,1	0,010	0,3	0,012	0,6	0,004	0,5
Cr	0,164	1,2	0,045	1,1	0,065	0,6	< MDL	n. z.
Mn	0,861	0,2	1,16	0,7	0,816	0,1	0,455	0,3
Fe	85,49	0,6	79,13	0,6	69,36	0,9	74,74	0,1
Co	0,008	3,3	0,010	3,4	0,008	2,8	0,007	2,4
Ni	0,080	2,0	0,037	6,8	0,049	1,4	0,019	3,4
Cu	3,83	0,1	3,02	0,2	2,84	0,1	3,65	0,3
Zn	42,06	0,2	45,60	0,3	46,07	0,1	39,49	0,6
As	0,004	2,8	0,008	7,9	0,005	3,7	0,004	7,2
Se	0,087	0,6	0,260	2,0	0,080	0,1	0,088	1,9
Sr	2,40	0,3	3,67	0,8	2,82	0,1	2,50	0,1
Mo	0,159	2,2	0,175	1,0	0,127	0,1	0,183	1,5
Cd	0,0004	13,6	0,0002	13,3	0,001	2,7	0,0002	18,5
Sn	0,003	7,0	0,006	4,7	0,003	1,9	0,003	2,5
Sb	0,014	2,4	0,001	2,1	0,001	8,3	0,001	2,1
I	1,06	1,9	1,66	1,0	0,862	2,0	0,848	0,1
Ba	1,49	0,5	0,268	1,3	0,456	1,4	0,370	0,6
Hg	0,0001	23,9	0,001	0,2	0,0001	22,5	< MDL	n. z.
Tl	0,004	2,2	0,001	1,8	0,001	4,2	0,0003	3,4
Pb	0,013	2,3	0,004	2,4	0,006	1,0	0,003	2,3
U	0,001	1,5	0,003	0,8	0,005	3,0	0,0003	4,8

Schlussfolgerungen

Das Agilent 7800 ICP-MS wurde für die Analyse von 28 Elementen in neun angereicherten Lebensmittelproduktproben, die durch Mikrowellenaufschluss vorbereitet wurden, eingesetzt. Die Methodenentwicklung wurde durch den standardisierten Heliumkollisionsmodus und die Autotune-Funktionen des Geräts erleichtert. Die Empfindlichkeit und der 10 Größenordnungen umfassende dynamische Analysebereich des 7800 ermöglichten die Bestimmung mineralischer Hauptelemente wie Na, K, Ca und Mg in einem Analyselauf mit Spurenelementen wie Cr, As, Cd, Pb und Hg.

Die Genauigkeit der Methode wurde durch die Analyse von 13 Nährelementen in einem Nahrungsformulierungs-SRM und die Durchführung eines Spike-Wiederfindungstests für sieben Elementkontaminanten in drei Proben von Säuglingsnahrung bewertet. In allen Fällen wurden hervorragende Wiederfindungen erreicht. Der 7800 ICP-MS demonstrierte weiterhin eine ausgezeichnete Stabilität über einen sechsständigen Lauf hinweg und übertraf die in der GB-Standardmethode spezifizierten Anforderungen an die Nachweisgrenze.

Die 7800 ICP-MS-Methode eignet sich für die routinemäßige Multielementanalyse von Lebensmitteln auf darin enthaltene Elemente im Spurenbereich und hochkonzentrierte Mineralelemente und damit zur Qualitätskontrolle im Hinblick auf elementare Nährstoffe und Verunreinigungen.

Literatur

1. Marktübersicht: Identifying New Trends and Opportunities in the Global Infant Formula Market, Part I, 2016, Euromonitor International, Online: <https://www.euromonitor.com/market-overview-identifying-new-trends-and-opportunities-in-the-global-infant-formula-market-part-i/report> (Zugriff im Februar 2019)
2. Meal Replacement Products Market - Global Industry Size, Share, Trends, Analysis, And Forecasts, 2016 – 2024, Transparency Market Research, Online: <https://www.transparencymarketresearch.com/meal-replacement-products-market.html> (Zugriff im Februar 2019)
3. The Ministry of Health of the People's Republic of China, GB 10765-2010 National Food Safety Standard Infant Formula, (2010), Online: http://www.gbstandards.org/GB_standards/GB-10765-2010.html (Zugriff im Februar 2019)
4. US FDA, e Code of Federal Regulations (CFR) Title 21 Infant Formula, Online: <https://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfcfr/CFRSearch.cfm?CFRPart=107> (Zugriff im Februar 2019)
5. Commission Delegated Regulation (EU) 2016/127 supplementing Regulation (EU) No 609/2013, Official Journal of the European Union (2016) Online: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32016R0127> (Zugriff im Februar 2019)
6. Chinesischer nationaler Standard für die Lebensmittelsicherheit GB 2762–2017 mit Maximalkonzentrationen für Verunreinigungen in Lebensmitteln
7. Richtlinie (EG) Nr. 1881/2006 der EU-Kommission mit Maximalkonzentrationen für bestimmte Verunreinigungen in Nahrungsmitteln
8. CODEX Standard 193-1995 General Standard for Contaminants and Toxins in Food and Feed, amended 2018
9. ISO 20649:2015(E)/IDF 235:2015(E) *Infant formula and adult nutritionals - Determination of chromium, selenium and molybdenum - Inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS)*, Online: <https://www.iso.org/standard/68653.html> (Zugriff im Februar 2019)
10. GB 5009.268-2016 *National food safety standard Determination of calcium, iron, zinc, sodium, potassium, magnesium, copper and manganese in foods for infants and young children, milk and milk products*, Online: <https://www.chinesestandard.net/PDF/English.aspx/GB5009.268-2016>, (Zugriff im Februar 2019)
11. ISO 21424:2018 *Milk, milk products, infant formula and adult nutritionals – Determination of minerals and trace elements ICP-MS method*, <https://www.iso.org/standard/70901.html>, (Zugriff im Februar 2019)
12. U. Tinggi, N. Schoendorfer, P. Davies et al., Determination of iodine in selected foods and diets by inductively coupled plasma-mass spectrometry, *Pure and Appl Chem*, **2011**, 84 (2), 291-299

www.agilent.com/chem

Änderungen vorbehalten.

© Agilent Technologies, Inc. 2019
Gedruckt in den USA, 28. März 2019
5994-0842DEE