

Aluminium in mineralischen Nahrungsergänzungsmitteln: Analytik und Bewertung

Kerstin Simone Schöberl, Verena Bock, Elena Dilger

Einleitung

Nahrungsergänzungsmittel sind Konzentrate von Nährstoffen oder anderen Substanzen mit physiologischer Wirkung. Trotz ihrer pharmazeutisch erscheinenden Aufmachung sind es Lebensmittel. In den meisten Fällen sind Nahrungsergänzungsmittel für gesunde Menschen mit ausgewogener, abwechslungsreicher und ausreichender Ernährung überflüssig. Dennoch bietet ihr Verzehr in bestimmten Lebenssituationen oder für bestimmte Personengruppen Vorteile. So zum Beispiel bei unzureichender Lichtexposition (Supplementierung von Vitamin D) oder für Frauen im gebärfähigen Alter (Supplementierung mit Eisen, Iod, Folsäure).

Auf dem Markt finden sich beispielsweise auch mineralische, siliciumhaltige Nahrungsergänzungsmittel, die als besonders vorteilhaft für Haut, Haare und Nägel angepriesen werden. Diese Wirkungen sind jedoch bisher nicht bewiesen, und es ist nach wie vor unklar, ob eine Aufnahme von Silicium für den menschlichen Organismus überhaupt essenziell ist.[2]

In diesen Produkten können höhere Gehalte von beispielsweise Aluminium und Blei auftreten. Ein Grund hierfür sind unter anderem die Kristallstrukturen bestimmter Minerale, wie etwa Kaolin oder Kieselerde, welche diese Elemente enthalten können. Durch die Verwendung von Rohstoffen aus geeigneten Abbaustätten lässt sich der Elementgehalt minimieren, wodurch eine Eignung für den Einsatz in Lebensmitteln sichergestellt werden kann. Deshalb müssen die Rohstoffe vor der Entscheidung über ihre Verwendung jeweils sorgfältig ausgewählt und auf ihre Elementgehalte untersucht werden.

Für viele Kontaminanten oder Rückstände wurden inzwischen EU-weite Höchstgehalte in bestimmten Lebensmitteln festgelegt. Für chemische Elemente wie Blei, Cadmium, Quecksilber, Arsen, Nickel und Zinn sind diese in der Verordnung (EU) 2023/915 der Kommission über Höchstgehalte für bestimmte Kontaminanten in Lebensmitteln [3] aufgeführt. Aluminium wurde dort jedoch bislang nicht aufgenommen. Silicathaltige Nahrungsergänzungsmittel können in der routinemäßigen Analytik eine Herausforderung darstellen. Die Silicatbasis solcher Produkte korreliert mit unterschiedlichen Gehalten an z. B. Natrium, Kalium, Kalzium, Blei oder bis zu mehreren Gramm Aluminium [11]. Aluminium kann eines der Hauptelemente einiger der verwendeten Alumosilicatminerale in Nahrungsergänzungsmitteln sein.[12,13]



Abb.1: Siliciumdioxid als Sand und Quarz/Bergkristall; Beispiele silicatischer Mineralien

Zur Bestimmung des Aluminiumgehaltes ist es sehr wichtig, eine geeignete und valide Messmethode zu wählen. Aluminium stellt als dritthäufigstes chemisches Element der Erdkruste eine Herausforderung dar, wenn es um die Vermeidung von Kontaminationen während des gesamten Analyseverfahrens geht. Insbesondere die Bestimmung der teilweise schwerlöslichen Aluminiumverbindungen erweist sich in Proben auf Silikatbasis als anspruchsvoll.

Material und Methoden

Nahrungsergänzungsmittel auf Silicatbasis (z. B. Siliciumdioxid, Alumosilicate, Kieselerde, Kieselsäure), auch gemischt mit Zusätzen anderer Mineralstoffe und/oder Vitaminen, liegen oft in Form von Tabletten oder Kapseln vor.

Es gibt zwei veröffentlichte und normierte Methoden zur Analyse von Lebensmitteln auf der Grundlage von Artikel 34 der Verordnung (EU) 2017/625.[4]

DIN EN 17264:2019, Lebensmittel - Bestimmung von Elementen und ihren Verbindungen - Bestimmung von Aluminium mittels Massenspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-MS) [5], DIN EN 17265:2019, Lebensmittel - Bestimmung von Elementen und ihren Verbindungen - Bestimmung von Aluminium mittels optischer Emissionsspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-OES).[6]

Einblicke in die Analytik

Die zuvor genannten europäischen Normen sind allgemein für Lebensmittel gültig. Sie wurden dafür erarbeitet, geprüft und in die amtliche Sammlung von Untersuchungsverfahren nach § 64 LFGB aufgenommen. Sie sind daher nach Artikel 34 Absatz 2 der Verordnung (EU) 2017/625 [4] im Rahmen amtlicher Kontrollen von den Laboratorien verpflichtend anzuwenden.

Aluminium wird quantitativ mittels ICP-MS [5] und ICP-OES [6] nach Aufschluss der Probe mit Salpetersäure (bei Lebensmitteln mit geringem Wassergehalt unter Zugabe von Wasser) nach dem in der Norm DIN EN 13805 [7] beschriebenen Druckaufschlussverfahren, jedoch ohne Verwendung von Flusssäure, bestimmt. Die Aufschlussbedingungen sind so gewählt, dass auch bei Proben mit schwerlöslichen Aluminiumverbindungen (z. B. Silicate, Oxide) Minderbefunde gering gehalten werden.

Beide Methoden wurden für Säuglingsnahrung, Weizennudeln, Käse, Leber, rote Bete und Kakaopulver mit Massenanteilen im Bereich von 1 mg/kg [5] und 15 mg/kg [6] bis 200 mg/kg validiert. Bei Konzentrationen über 200 mg/kg können Aufschluss Temperaturen von mehr als 220 °C erforderlich sein, um das Aluminium möglichst vollständig zu erfassen. Generell ist es wichtig, die vollständige Lösung des Aluminiums zu gewährleisten. Bei teilweise schwerlöslichen Proben erreicht man die beste Reproduzierbarkeit, wenn folgende Rahmenbedingungen eingehalten werden:

- 1. Probenhomogenität: Es ist darauf zu achten, dass die Probe ausreichend homogen ist. Bei unvollständigem Aufschluss oder hohen Aluminiumgehalten wie in Kieselerdeproben kann es vorteilhaft sein, eine möglichst kleine Probeeinwaage, mindestens jedoch 200 mg für trockene Proben einzusetzen. Damit werden Aluminiumverbindungen möglichst vollständig aufgeschlossen.
- 2. Vermeidung von Kontaminationen: Wichtig ist, Kontaminationen über den gesamten Analyseprozess zu vermeiden (siehe dazu auch Anhänge von [5,6]).
- 3. Halbkonzentrierte Salpetersäure: Proben mit geringem Wassergehalt sind zuerst mit Wasser zu versetzen und intensiv zu mischen, bevor die konzentrierte Salpetersäure zugegeben wird. Durch das Aufschlännen sollen eine vollständige Benetzung der Probe mit Wasser sichergestellt werden und die Inhaltsstoffe besser für die Säure zugänglich sein. Wasserstoffperoxid wird zum Aufschluss nicht eingesetzt.

Aus dem methodenprüfenden Ringversuch hat sich gezeigt, dass bei Proben mit hohen Silicatgehalten feine Niederschläge entstehen und akzeptiert werden

[Abb. 2]. Dadurch werden in den überstehenden klaren Aufschlusslösungen geringere Aluminiumgehalte gemessen, als dies bei einem Gesamtgehalt der Fall wäre. Eine Abtrennung der klaren Lösung kann beispielsweise durch abdekantieren, zentrifugieren oder filtrieren erfolgen.

Die Aluminiumgehalte aller mittels Normverfahren erhaltener Messlösungen werden somit durch ein standardisiertes und mittlerweile langjährig bewährtes Verfahren ermittelt. Eigene Untersuchungen des Druckaufschluss-unlöslichen Anteils haben gezeigt, dass die Aluminiumkonzentration bei hauptsächlich mineralisch zusammengesetzten Nahrungsergänzungsmitteln bis zu 30 % betragen kann.

Die Detektionsmethode zur Messung hat aus hiesiger Sicht einen geringen Einfluss, sodass je nach Empfindlichkeit ICP- oder Atomabsorptionsspektrometrische (AAS)-Methoden angewendet werden können.



Abb. 2: Aufgefüllte trübe Aufschlusslösung

Die Aluminiumbestimmung ist herausfordernd und passt bei komplex zusammengesetzten Lebensmitteln unserer Erfahrung nach in keine quantitative Multi-element-Bestimmungsmethode, z. B. DIN EN 17851. [8] Dies begründet die eigenständige und standardisierte Einzelement-Bestimmung für Aluminium in Lebensmitteln. Wird dies ignoriert, können falsche und damit auch nicht vergleichbare Aluminiumgehalte resultieren.

Toxikologische Bewertung des Aluminiumgehalts in mineralischen Nahrungsergänzungsmitteln

Der Aluminiumgehalt eines mineralischen Nahrungsergänzungsmittels wird durch oben beschriebene standardisierte Verfahren ermittelt. Sodann ist unter Berücksichtigung der deklarierten Verzehrmenge des Produkts zu beurteilen, ob eine toxikologische Relevanz für die Aluminiumaufnahme besteht. Dieses Vorgehen ist erforderlich, da es wie erwähnt keine gesetzlichen Höchstgehalte für Aluminium in Lebensmitteln gibt. Um entscheiden zu können, ob gesundheitliche Bedenken bestehen, ist ein wissenschaftlich abgeleiteter und verbindlicher Schwellenwert erforderlich.

Eine langfristig erhöhte Aluminiumaufnahme wurde beim Menschen mit spröden Knochen, Anämie und Hirnschäden in Verbindung gebracht.[9] Im Jahr 2008 hat das EFSA-Gremium eine tolerierbare wöchentliche Aufnahmemenge (TWI) von 1 mg Aluminium/kg Körpergewicht aus allen Nahrungsquellen festgelegt. Der TWI wurde aus einer Reihe von Tierstudien (Mäuse, Ratten, Hunde) abgeleitet, in denen es u. a. zu neuro-, embryo- und reproduktionstoxischen Effekten kam.[1]

Die Neubewertung der Lebensmittelzusatzstoffe Natriumaluminiumsilicat (E 554) und Kaliumaluminiumsilicat (E 555) im Jahr 2020 unterstützen diesen TWI. Solange der TWI nicht überschritten wird, kann ein Gesundheitsrisiko praktisch ausgeschlossen werden. Eine einmalige Überschreitung führt nicht zwangsläufig zu gesundheitlich negativen Effekten. Wird der Schwellenwert jedoch regelmäßig überschritten, steigt das Risiko für Schäden. Das EFSA-Gremium stellte fest, dass die Exposition gegenüber Aluminium allein aus den Lebensmittelzusatzstoffen E 554 und E 555 theoretisch bereits weit über dem TWI liegen könnte. In Anbetracht der sehr begrenzten toxikologischen Daten und der unzureichenden Informationen über die physikalisch-chemische Charakterisierung beider Zusatzstoffe kam man zu dem Schluss, dass die Sicherheit von E 554 und E 555 nicht bewertet werden kann. Ein künftiges Verbot dieser Stoffe ist daher möglich. Dies steht im Einklang mit der Beschränkung weiterer aluminiumhaltiger Lebensmittelzusatzstoffe in der Vergangenheit und zielt darauf ab, die Aluminiumexposition weiter zu reduzieren.[10]

Ergebnisse

Die meisten unverarbeiteten Lebensmittel enthalten weniger als 5 mg/kg Aluminium. Gehalte von 5 bis 10 mg/kg werden als höhere Konzentrationen eingestuft [1]. Hohe Gehalte wurden im Rahmen der Validierung der Normmethoden [5, 6] durch Rote Bete, Kakaopul-

ver und Kräuter mit Gehalten oberhalb von 100 mg/kg bis zu fast 600 mg Aluminium/kg berücksichtigt. In diesen hohen Konzentrationsbereichen werden feine Niederschläge gemäß Normen akzeptiert.

Die Bioverfügbarkeit von Aluminium bei Menschen und Versuchstieren, z. B. aus Lebensmitteln, wird im Allgemeinen als gering eingeschätzt und mit ungefähr 0,1 % angegeben[1] Vergleicht man den Aluminiumgehalt nach Normen [5,6] mit dem Gehalt nach Extraktion mit Magensäure-Simulanz, wird deutlich, dass magensäurelösliche Aluminiumgehalte in Produkten aus Silicatbasis signifikant niedriger liegen. Dass es auch einen Unterschied in der Löslichkeit von Aluminium in menschlichen Organen wie Magen und Darm gibt, wurde bei Ableitung des TWI bereits berücksichtigt. Aufgrund der geringeren Aluminiumlöslichkeit stellt der Aufschluss gemäß Norm [5,6] in silikatreichen Proben einen normierten Extraktionsschritt dar, welcher im Rahmen der Analytik zusätzlich den zur Bewertung verwendeten und damit validen Aluminiumgehalt reduziert. Zur toxikologischen Bewertung des analytisch bestimmten Aluminiumgehaltes ist es daher folgerichtig, diesen in direkte Relation mit dem TWI zu setzen.

Wie im nachfolgenden Beispiel gezeigt, wird der TWI für Aluminium in einigen Fällen sehr deutlich überschritten. Nahrungsergänzungsmittel werden normalerweise über einen längeren Zeitraum eingenommen, so dass eine chronische Aufnahme in Betracht gezogen werden muss. Eine chronisch hohe Aluminiumaufnahme ist toxikologisch nicht tolerierbar. [1] Dies führt zu einer lebensmittelrechtlichen Bewertung als gesundheitsschädliches Lebensmittel gemäß Artikel 14 Absatz 1 in Verbindung mit Absatz 2a und Absatz 4 der Verordnung (EG) Nr. 178/2002 [15]. Infolgedessen werden solche Produkte vom Markt zurückgerufen.

In einem von uns untersuchten silicatreichen Nahrungsergänzungsmittel wurde mittels den Normen [5, 6] der Aluminiumgehalt bestimmt. Beispielhaft stellen wir die toxikologische Bewertung dar:

Der Aluminiumgehalt wurde mit 15500 ± 3110 mg/kg ermittelt ($\pm$ maximale erweiterte Messunsicherheit in Anlehnung an die Verordnung (EG) Nr. 333/2007 [14]). Anhand des TWI [1] von 1 mg/kg Körpergewicht pro Woche ergibt sich für einen durchschnittlichen Erwachsenen mit einem Gewicht von 60 kg eine tolerierbare wöchentliche Aufnahme von 60 mg Aluminium aus allen konsumierten Lebensmitteln. Bei einer empfohlenen täglichen Verzehrmenge von zwei Tabletten und einem Tablettengewicht von 1,4 g resultiert eine wöchentliche Aufnahme von 304 mg Aluminium allein durch das Nahrungsergänzungsmittel. Der TWI wird somit um das ca. 5-Fache überschritten. Die

Aluminiumaufnahme aus anderen Lebensmitteln wurde bei dieser Bewertung noch nicht berücksichtigt.

Fazit

Die Analytik und rechtliche Bewertung des Aluminiumgehalts in mineralischen Nahrungsergänzungsmitteln ist ein vielschichtiges Thema. Verschiedenste Produkte sind auf dem sich schnell verändernden Markt verfügbar. Daher ist bei nahezu jeder Probe eine toxikologische Einzelfallbetrachtung notwendig.

Derartigen speziellen Fragestellungen kann mithilfe der hier vorgestellten Werkzeuge wie der Methodenstandardisierung und wissenschaftlich abgeleiteter Schwellenwerte begegnet werden. Wünschenswert wäre es jedoch, dass in näherer Zukunft europäische Höchstgehalte für Aluminium in Lebensmitteln, einschließlich Nahrungsergänzungsmitteln, geschaffen werden. Dies würde den Bewertungsprozess vereinfachen und mehr Rechtssicherheit für alle Beteiligten bieten.

Dank

Unser Dank gilt dem Team der Elementanalytik des CVUA Karlsruhe für ihre hervorragende Arbeit. Danke an alle Mitglieder der verschiedenen Element-Arbeitsgruppen der Lebensmittelchemischen Gesellschaft, § 64/BVL, DIN und CEN sowie dem deutschen NRL-Netzwerk amtlicher Lebensmittellaboratorien.

Literatur

- [1] Scientific Opinion of the Panel on Food Additives, Flavourings, Processing Aids and Food Contact Materials on a request from European Commission on Safety of aluminium from dietary intake. The EFSA Journal (2008), 754, 1-34
- [2] <https://www.bfr.bund.de/cm/343/hoechstmengenvorschlaege-fuer-silizium-in-lebensmitteln-inklusive-nahrungsergaenzungsmitteln.pdf> (aufgerufen am 01.07.2025)
- [3] Verordnung (EU) 2023/915 der Kommission vom 25. April 2023 über Höchstgehalte für bestimmte Kontaminanten in Lebensmitteln und zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 1881/2006; ABl. L119/103
- [4] Verordnung (EU) 2017/625 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 15. März 2017 über amtliche Kontrollen und andere amtliche Tätigkeiten zur Gewährleistung der Anwendung des Lebens- und Futtermittelrechts und der Vorschriften über Tiergesundheit und Tierschutz, Pflanzengesundheit und Pflanzenschutzmittel, zur Änderung der Verordnungen (EG) Nr. 999/2001, (EG) Nr. 396/2005, (EG) Nr. 1069/2009, (EG) Nr. 1107/2009, (EU) Nr. 1151/2012, (EU) Nr. 652/2014, (EU) 2016/429 und (EU) 2016/2031 des Europäischen Parlaments und des Rates, der Verordnungen (EG) Nr. 1/2005 und (EG) Nr. 1099/2009 des Rates sowie der Richtlinien 98/58/EG, 1999/74/EG, 2007/43/EG, 2008/119/EG und 2008/120/EG des Rates und zur Aufhebung der Verordnungen (EG) Nr. 854/2004 und (EG) Nr. 882/2004 des Europäischen Parlaments und des Rates, der Richtlinien 89/608/EWG, 89/662/EWG, 90/425/EWG, 91/496/EEG, 96/23/EG, 96/93/EG und 97/78/EG des Rates und des Beschlusses 92/438/EWG des Rates (Verordnung über amtliche Kontrollen, ABl. L 095/1)
- [5] DIN EN 17264:2019, Bestimmung von Elementen und ihren Ver-

bindungen - Bestimmung von Aluminium mittels Massenspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-MS)

- [6] DIN EN 17265:2019, Lebensmittel - Bestimmung von Elementen und ihren Verbindungen - Bestimmung von Aluminium mittels optischer Emissionsspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-OES)
- [7] DIN EN 13805:2014, Lebensmittel - Bestimmung von Elementspuren - Druckaufschluss
- [8] DIN EN 17851:2023, Lebensmittel - Bestimmung von Elementen und ihren Verbindungen - Bestimmung von Ag, As, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Mo, Ni, Pb, Se, Ti, U und Zn mit induktiv gekoppeltem Plasma-Massenspektrometrie (ICP-MS) nach Druckaufschluss
- [9] Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR); Gesundheitliche Bewertung Nr. 034/2008: Aluminium in Apfelsaft: Lagerung von Fruchtsäften nicht in Aluminiumtanks; 18.06.2008
- [10] EFSA Journal 2020; 18(6):6152: Re-evaluation of sodium aluminium silicate (E 554) and potassium aluminium silicate (E 555) as food additive. doi: 10.2903/j.efsa.2020.6152
- [11] Egon Wiberg, Nils Wiberg: Lehrbuch der anorganischen Chemie; Walter de Gruyter & Co., Berlin, New York; 2007
- [12] Beardmore, J. et al. What is the mechanism of formation of hydroxyaluminosilicates? Sci. Rep. 6, 30913; doi: 10.1038/srep30913 (2016).
- [13] Verwaltungsgericht Würzburg, Beschluss vom 16. Dezember 2020 – W 8 S 20.1641 - juris
- [14] Verordnung (EG) Nr. 333/2007 der Kommission vom 28. März 2007 zur Festlegung der Probenahme- und Analysemethoden für die Kontrolle des Gehalts an Spurenelementen und Prozesskontaminanten in Lebensmitteln; ABl. L 088/29. Konsolidierte Fassung unter <http://data.europa.eu/eli/reg/2007/333/2024-04-30> (aufgerufen am 07.08.2025)
- [15] Verordnung (EG) Nr. 178/2002 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 28. Januar 2002 zur Festlegung der allgemeinen Grundsätze und Anforderungen des Lebensmittelrechts, zur Errichtung der Europäischen Behörde für Lebensmittelsicherheit und zur Festlegung von Verfahren zur Lebensmittelsicherheit; ABl. L 031/1

Autorinnen



Dr. Elena Dilger
staatl. gepr. Lebensmittelchemikerin
CVUA Karlsruhe,
Sachverständige für
Elementanalytik,
Zentr. Serviceabteilung,
Mitglied
Monitoring Expertengruppe
Probenvorbereitung.

Kontakt:

Kerstin Simone Schöberl
Chemisches und Veterinäruntersuchungsamt Karlsruhe
Weißburger Str. 3
76187 Karlsruhe
kerstin.schoeberl@cvuaka.bwl.de



Verena Bock
staatl. gepr. Lebensmittelchemikerin
CVUA Karlsruhe,
Sachverständige für
Nahrungsergänzungsmittel, Abteilung für
pflanzliche und diätetische Lebensmittel.



Kerstin Schöberl
staatl. gepr. Lebensmittelchemikerin,
Abteilungsleiterin
CVUA Karlsruhe,
Zentr. Serviceabteilung, Bestrahlung,
Zusatzstoffe. Mitglied
versch. Elementanalytik-AGs, national und
CEN.

doi: <https://doi.org/10.1002/lemi.202500605>