

Aluminium in mineralischen Nahrungsergänzungsmitteln: Analytik und Bewertung

Dr. Elena Dilger, Verena Bock und Kerstin Schöberl: Staatl. gepr. Lebensmittelchemikerinnen, CVUA Karlsruhe

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, Jod, Folsäure).

Auf dem Markt werden u. a. auch mineralische, siliciumhaltige Nahrungsergänzungsmittel angeboten, 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 essenziell ist [2]. In diesen Produkten, etwa mit Alumosilicaten (Kaolin), Kieselerde oder Kieselsäure können höhere Gehalte von Aluminium- und Blei auftreten. Ursache hierfür sind u. a. die Kristallstrukturen in welchen diese Elemente vergesellschaftet sein können. Durch die Verwendung von Rohstoffen aus geeigneten Abbaustätten lässt sich der Elementgehalt minimieren und die Eignung für Lebensmitteln sicherstellen. Deshalb müssen die Rohstoffe vor der Verwendung sorgfältig auf ihre Elementgehalte untersucht werden. Für viele Kontaminanten oder Rückstände wurden inzwischen EU-weite Höchstgehalte für bestimmte Lebensmittel in der Verordnung (EU) 2023/915 festgelegt [3]. Aluminium wurde dort jedoch bislang nicht aufgenommen.

Silicathaltige Nahrungsergänzungsmittel können in der routinemäßigen Analytik eine Herausforderung darstellen. Die Silicatbasis solcher Produkte kann mit unterschiedlichen Gehalten an Natrium, Kalium, Kalzium, Blei und Aluminium einhergehen [11]. Aluminium

gehört neben Silicium und Sauerstoff zu den Hauptbestandteilen der eingesetzten Alumosilicatmineralien [12, 13]. Aufgrund der teilweise vorliegenden schwerlöslichen Verbindungen und möglicher Kontaminationen ist die Wahl einer geeigneten, validen Messmethode zur Bestimmung des Aluminiumgehaltes unerlässlich.

Analytik und toxikologische Bewertung

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] und

DIN EN 17265:2019, Lebensmittel – Bestimmung von Elementen und ihren Verbindungen – Bestimmung von Aluminium mittels optischer Emissionsspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-OES) [6]. Diese 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 verpflichtend anzuwenden. Aluminium wird dabei quantitativ mittels ICP-MS [5] und ICP-OES [6] nach Aufschluss der Probe mit Salpetersäure (bei 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 Be-

reich von 1 mg/kg [5] und 15 mg/kg [6] bis 200 mg/kg validiert. Bei Konzentrationen über 200 mg/kg können Aufschlusstemperaturen 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:

A) Auf Probenhomogenität achten. 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.

B) Vermeidung von Kontaminationen über den gesamten Analyseprozess.

C) Verwendung halbkonzentrierter Salpetersäure. Proben mit geringem Wassergehalt sind zuerst mit Wasser zu versetzen und intensiv zu mischen, bevor die konzentrierte Salpetersäure zugegeben wird. Durch das Aufschlännen soll 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. 1]. 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 dieser bei hauptsächlich mineralisch zusammengesetzten Nahrungsergänzungsmitteln bis zu 30% betragen kann. Die Detektionsmethode zur Messung hat aus hiesiger Sicht einen geringen Einfluss, so dass je nach Empfindlichkeit ICP- oder Atomabsorptionsspektrometrische (AAS)-Methoden angewendet werden können.



Abb. 1 Aufgefüllte trübe Aufschlusslösung

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

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 Kno-

chen, 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] 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 Gesundheitsrisiko. Die Neubewertung der Lebensmittelzusatzstoffe Natriumaluminiumsilicat (E 554) und Kaliumaluminiumsilicat (E 555) im Jahr 2020 unterstützen die Anwendung des TWI auf derartige Verbindungen. Das EFSA-Gremium stellte fest, dass die Exposition gegenüber Aluminium allein aus diesen Lebensmittelzusatzstoffen 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 und Schlussfolgerungen

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, Kakaopulver und Kräuter mit Gehalten über 100 mg/kg bis fast 600 mg Aluminium/kg berücksichtigt. In diesen hohen Konzentrationsbereichen werden wie zuvor erläutert, feine Niederschläge gemäß den 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 nach den Normen [5, 6]

analysierten Aluminiumgehalt mit dem Gehalt nach Extraktion mit Magensäure-Simulanz, wird deutlich dass magensäurelösliche Aluminiumgehalte in Produkten aus Silicatbasis signifikant niedriger liegen.

Dass es einen Unterschied in der Löslichkeit von Aluminium in menschlichen Organen wie Magen und Darm gibt, wurde bei Ableitung des TWI bereits berücksichtigt. Der normgerechte Aufschluss [5, 6] extrahiert Aluminium aus silikatreichen Proben außerdem nur eingeschränkt. Dadurch wird der analytisch erfasste und zur Bewertung herangezogene Aluminiumgehalt zusätzlich 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 sind solche Produkte nicht verkehrsfähig.

In einem durch die Autorinnen untersuchten silikatreichen Nahrungsergänzungsmittel wurde der Aluminiumgehalt nach den Normen [5, 6] bestimmt. Die toxikologische Bewertung wird im Folgenden beispielhaft dargestellt:

Der Aluminiumgehalt lag bei 15500 ± 3110 mg/kg ($\pm$ maximale erweiterte Messunsicherheit in Anlehnung an die Verordnung (EG) Nr. 333/2007 [14]). Anhand des TWI von 1 mg/kg Körpergewicht pro Woche [1] 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.

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 naher Zukunft europäische Höchstgehalte für Aluminium in Lebensmitteln, einschließlich Nahrungsergänzungsmitteln, geschaffen werden. Dies würde den Bewertungsprozess vereinfachen und mehr Rechtssicherheit für alle Beteiligten bieten.

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. L 119/103.
- [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 Verbindungen - 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 gekoppelter 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. Erstveröffentlichung des Textes in Lebensmittelchemie 79, 186-190, 2025, doi: <https://doi.org/10.1002/lemi.202500605>

Quelle:

Chemisches und Veterinäruntersuchungsamt (CVUA) Karlsruhe,
Weißburger Str. 3, 76187 Karlsruhe.
kerstin.schoeberl@cvuaka.bwl.de