

Aluminium in Milch und Milchprodukten im Vergleich zu anderen Lebensmitteln - eine Übersicht

R. SIEBER und R. Ch. DANIEL

Eidg. Forschungsanstalt für Milchwirtschaft, 3097 Liebefeld-Bern

Eingereicht am 19. Mai 1995

Aluminium wird beim Menschen mit verschiedenen klinischen Störungen in Verbindung gebracht. Unter anderem können ebenfalls Lebensmittel als Aluminiumquellen in Frage kommen. In Milch wurden Aluminiumkonzentrationen in der Grössenordnung von 0,1 mg/L gefunden, in Milchprodukten und Kindernährmitteln von etwas mehr als 1 mg/kg. Aluminium kommt in Milch vorwiegend als zweifach-geladener (negativer) Aluminiumcitrat-komplex vor. Eine Aluminiummigration aus Verpackungsmaterial in ein Lebensmittel ist im wesentlichen von dessen pH-Bedingungen abhängig. Aus lackierten Oberflächen von Aluminiumkannen findet jedoch nur eine geringe Migration in ein saures Lebensmittel statt.

Einleitung

In der Erdkruste findet sich das Aluminium mit 8 % nach Sauerstoff und Silizium an dritter Stelle unter den Elementen. Dort kommt es vorwiegend als sehr schwerlösliche Oxide und komplexe Aluminiumsilikate vor. Für Tier und Mensch scheint es keine essentiellen Funktionen aufzuweisen (22). Vielmehr hat dieses Metall aber aus gesundheitlicher wie auch aus toxikologischer Sicht Beachtung gefunden (9), so vor allem wegen seiner möglichen Rolle bei klinischen Störungen wie der Alzheimer'schen Krankheit, einer Form des senilen und präsenilen Schwachsinn (10, 44), und dem Dialyse-Enzephalopathie-Syndrom oder der Dialyse-Demenz (65). Überdies wurde festgestellt, dass nach dem 60. Altersjahr die Einlagerung von Aluminium im Gehirn erhöht ist und zwischen dem 80. und 99. Jahre stark beschleunigt wird (6). Ob Aluminium als einer von mehreren Faktoren an der Alzheimer'schen Krankheit beteiligt ist, wird in der wissenschaftlichen Literatur noch diskutiert. Es existieren dazu verschiedene Hypothesen, die sich auf neurochemische, genetische, virale, immunologische, vaskuläre und metabolische, toxische Grundlagen sowie auf die freien Radikale beziehen (44). Nach Priest (51) stimmen jedoch die meisten Forscher überein, dass das Aluminium nicht ursächlich an der Alzheimer'schen Krankheit beteiligt ist.

Der Mensch kann über verschiedene Quellen einer Aluminiumzufuhr ausgesetzt sein wie unter anderem die Ernährung, Lebensmittelzusatzstoffe, Kindernährmittel, Kochgeräte, Trinkwasser, Dialysewasser bei Nierenpatienten, Behandlung mit Blutpräparaten, intravenöse flüssige Präparate in der parenteralen Ernährung, orale Phosphat- und Antacidpräparate (17, 31). Da Lebensmittel als Aluminiumquellen in Frage kommen, wird auch ihnen vermehrt Aufmerksamkeit geschenkt.

Anlass zu dieser Übersicht ist die Frage, ob aus gesundheitlichen Gründen (mögliche Aluminiummigration) saure Milchprodukte in Aluminiumkannen produziert, gelagert und transportiert werden können. Die Beobachtung, dass Aluminiumkannen, die periodisch mit Abfällen für die Schweinefütterung (es ist anzunehmen, dass diese in gegorenem Zustand transportiert werden) in Berührung kamen und die nach längerer Verwendung ein Loch aufwiesen, könnte in diese Richtung weisen (persönliche Mitteilung W. Strahm, Sektion Molkereitechnologie, FAM).

Analytik von Aluminium in Lebensmitteln

Bevor auf die Konzentration von Aluminium in Milch und Milchprodukten eingegangen wird, soll noch kurz erwähnt werden, dass der Nachweis des Aluminiums in Lebensmittelproben nicht so einfach ist. Dies zeigte sich in einem IUPAC-Ringversuch, in dem die Qualität der Analysendaten als sehr enttäuschend bezeichnet wurde. So hatten 11 der 24 Labors mehr oder minder grosse Probleme mit der Aluminiumbestimmung (61). Dies könnte auch die teilweise unterschiedlichen Mengenangaben in Lebensmitteln erklären. Dieser Befund zeigt, dass auf verschiedene Aspekte der Aluminiumbestimmung in Lebensmitteln einzugehen ist.

Abgesehen von wenigen Ausnahmen, bei denen die Milch vor der Analyse einfach verdünnt wurde (2, 30, 66), wurden die Proben durch trockene Veraschung mit saurem Auflösen des Rückstandes (2, 7,

11, 38, 46, 61), durch nasse Veraschung bei normalem Luftdruck (1, 2, 30), durch nasse Veraschung unter Druck (3, 13, 57), mit Hilfe eines Mikrowellenofens (41) oder alkalisch (56) aufgeschlossen. Die Aluminiumbestimmung erfolgte mit Hilfe der Plasma-Emissions- (1, 7, 11, 23, 46) oder Atomabsorptionsspektrometrie im Graphitofen, entweder unter Kompensierung der nichtspezifischen Absorption durch eine Deuteriumlampe (2, 3, 4, 13, 30, 32, 66) oder durch Zeeman-Untergrundkorrektur (38, 41, 66). Die Empfindlichkeit der verwendeten Methoden, meist nicht erwähnt oder oft nicht klar, ob sich diese auf reine Lösungen oder auf zu analysierende Produkt bezieht, liegt für die Plasma-Emissionsspektrometrie zwischen 0,08 und 0,5 mg/kg Trockenmasse (38, 41) und für die Atomabsorption im Graphitofen zwischen 0,2 und 1 mg/kg Trockenmasse (7, 11). Es ist hier zu erwähnen, dass dieser Parameter von der analysierten Probenmenge abhängig ist. Die Genauigkeit der Resultate kann im allgemeinen als gut bezeichnet werden, vor allem wenn die geringen zu analysierenden Aluminiumkonzentrationen (0,1 bis 10 mg/kg Lebensmittel) berücksichtigt werden. Sie befindet sich bei $\pm 10\%$ (13, 56), gelegentlich bei 15 % (30). Für den gleichen Konzentrationsbereich liegt die Richtigkeit der Werte dagegen zwischen 50 und 130 % (13, 30, 38, 41, 56).

Gewisse Fehler können durch spektrale Interferenzen (beispielsweise interferiert Ca bei der Aluminiumbestimmung mit Hilfe der Plasma-Emissionspektrometrie bei $\lambda = 396\text{ nm}$ (11)) oder durch Kontamination der Proben verursacht werden. Ein grosser Teil der unrichtigen Werte ist jedoch auf unvollständige Aufschlüsse oder Mineralisierungen zurückzuführen (61). Milch- und Eipulver sowie Fleisch ergeben in dieser Beziehung weniger Schwierigkeiten, und ihre Aluminiumgehalte können als genügend genau bezeichnet werden. Dies ist jedoch bei pflanzlichen Lebensmitteln, die Siliziumverbindungen (25, 40) oder mineralische Verunreinigungen (5, 41) enthalten, nicht immer der Fall. In einem solchen Fall erlauben einzig die Verwendung von Fluorwasserstoff (20, 26, 41) oder von Alkalien (56) die gesamte Probe aufzuschliessen und somit Verluste durch Verschluss oder Adsorption zu verhindern.

Für die Überprüfung der Genauigkeit einer analytischen Methode kann zertifiziertes Referenzmaterial zur Anwendung gelangen. Solche Produkte sind jedoch nicht immer erhältlich, und oft ist das in Frage kommende Element in einem solchen Produkt nicht vorhanden. Seit kurzem steht ein Milchpulver zur Verfügung, das für seinen Gehalt an Aluminium zertifiziert wurde (27). Schliesslich können als weitere Möglichkeiten nicht-destruktive Methoden wie etwa die Neutronenaktivierung (67) oder die Röntgenfluoreszenz angewendet werden. Deren Einsatz ist jedoch aus finanziellen und wissenschaftlichen Gründen nicht für jedes Institut möglich. Der Internationale Milchwirtschaftsverband ist daran, eine Standardmethode zur Aluminiumbestimmung in Milch und Milchprodukten mittels Atomabsorptionsspektrometrie im Graphitofen und mit Zeeman-Untergrundkorrektur zu entwickeln.

Diese Überlegungen erlauben, sich eine Meinung über die analytische Qualität der in dieser Arbeit vorgestellten Werte zu machen. Wenn in Betracht gezogen wird, dass Aluminium in unserer Umgebung

ubiquitär vorkommt, was vor allem für den uns umgebenden Staub gilt, so können die Proben von der Probenahme bis zur Bestimmung bei zahlreichen Möglichkeiten kontaminiert werden. Um solche Kontaminationen zu minimieren, müssen die Arbeitsvorgänge strikt eingehalten werden. Wenn all dies berücksichtigt wird, kann die Qualität der in dieser Arbeit vorgestellten Resultate als zufriedenstellend bezeichnet werden. Auch wenn ihre Genauigkeit im ungünstigsten Falle nur ungefähr $\pm 40\%$ beträgt, so wird dadurch die globale Interpretation relativ wenig beeinflusst.

Vorkommen von Aluminium in Milch und Milchprodukten

Der Aluminiumgehalt der Milch und Milchprodukte variiert in Abhängigkeit der verschiedenen Publikationen recht deutlich. Eine umfassende Übersicht über den Aluminiumgehalt von Lebensmitteln, insbesondere auch von Milch, haben in den Jahren 1973 Schlettwein-

Gsell und Mommsen-Straub (52) sowie 1987 Pennington (47) erarbeitet. Aus der ersten Übersicht wurden die Angaben für Milch und Milchprodukte in Tabelle 1 zusammengestellt. Die in den letzten 10 Jahren ermittelten Aluminiumkonzentrationen in Milch und Milchprodukten sind in Tabelle 2 zusammengefasst. Nach Pennington (47) sind neuere Angaben aufgrund der Verwendung von modernen Instrumenten und Methodologie sowie guter Laborpraxis vertrauenswürdiger. In der Mehrzahl der in Tabelle 2 aufgeführten Untersuchungen (2, 4, 30, 39, 64, 66) wurden in Milch Aluminiummengen gefunden, die im Durchschnitt unter 0,05 mg/L lagen. Ausnahmen waren die Untersuchungen von Anderson (1), Björkstén et al. (6), Treier und Kluthe (57) sowie Wang et al. (63). Bei den Milchprodukten waren insgesamt etwas höhere Aluminiumgehalte vorhanden: rund 1 mg/kg in Kondensmilch und Joghurt, rund 3 mg/kg bei Käsen und unter 2 mg/kg bei Butter. Spitzenreiter unter den Käsen waren drei Proben Blauschimmelkäse mit Gehalten zwischen 15 und 19 mg/kg. Über den Zusatz von Fruchtpulpen kann die Aluminiumkonzentration bei Frischkäsen wie auch bei Früchtejoghurt erhöht werden. In Vollmilchpulver ermittelten Woollard et al. (66) eine doppelt so hohe Aluminiumkonzentration als Willis (64). Deutlich höhere Gehalte fanden in Milchpulver Bloodworth et al. (7). In Ziegenmilch wurden deutlich höhere Aluminiumkonzentrationen als in Kuhmilch gefunden: in Kolostrum 6,3 und in reifer Milch 3,9 mg/kg (46).

In Muttermilch (0,125 mg/kg; N=84) fand Anderson (1) mit der Kuhmilch (0,098 mg/kg; N=48) vergleichbare Aluminiumgehalte. Tiefere Aluminiumgehalte in Muttermilch wurden in anderen Untersuchungen gefunden (4, 12, 24). Nach Baxter et al. (4) waren die Medianwerte von 8 Muttermilchproben praktisch gleich mit denjenigen von 14 Kuhmilchproben (0,015 gegenüber 0,013 mg/L), dagegen waren sie in Sojadrink deutlich höher (0,188 mg/L; N=7). Unter diesen 8 Muttermilchproben wiesen deren 2 Aluminiumgehalte von 0,069 und 0,079 mg/L und deren 6 solche von 0,003 bis 0,021 mg/L auf. Im gleichen Bereich (Mittelwert: 0,009 mg/L, 95 %-Intervall: 0,006 bis 0,013 mg/L; N = 15) lagen auch die von Hawkins et al. (24) und geringfügig höher die von Curtis et al. (12) (0,027 mg/L; N = 27) bestimmten Gehalte.

In der Kuh- und Muttermilch liegt das Aluminium bei pH 6,8 zu knapp 90 % in Form von Al-Citrat-(OH)₂ und zu 10 % als Al-Citrat-OH vor, also in Form von Komplexen. Bei anderen pH-Werten verändern sich die Verhältnisse, wie am Beispiel der Muttermilch gezeigt werden konnte. Lag das Aluminium bei pH 6,8

mehrheitlich als Al-Citrat-(OH)₂ vor, ist es bei pH 4 zu drei Vierteln das Al-Citrat-OH, bei pH 3 zu je 40 % Al-Citrat und Al-di-Citrat und bei pH 2 zu mehr als 80 % freies Aluminium (17).

Vorkommen von Aluminium in Kindernährmitteln

Aluminium wird im menschlichen Organismus vornehmlich über die Nieren ausgeschieden. Da Kleinkinder noch unreife Nierenfunktionen aufweisen, kann bei ihnen eine überhöhte Alumi-

umzufuhr ein gewisses Risiko beinhalten. So wurde bereits über einen Fall eines urämischen Säuglings berichtet, dem während 9 Monaten oral Aluminiumhydroxid (tägliche Dosis: 150 bis 200 mg/kg Körpergewicht) zur Reduktion der Hyperphosphatämie verabreicht wurde und der eine progressive, schmerzhaft Osteopathie mit pathologischen Frakturen entwickelte, die schliesslich zu Thoraxwandinstabilität und Ateminsuffizienz führte (33, 34). Bei weiteren zwei Kleinkindern mit kongenitaler Urämie wurde eine Aluminiumtoxizität mit letalem Ausgang beobachtet, die auf das verwendete Kindernährmit-

tel zurückgeführt wurde. Dabei wurden Aluminiumkonzentrationen von 0,232 $\pm$ 0,06 mg/L ermittelt (19). Bei Kleinkindern, die aluminiumhaltige Antacide erhielten und 123 $\pm$ 16 mg Aluminium/kg Körpergewicht pro Tag während 4,7 Wochen konsumierten, war der Aluminiumgehalt im Plasma mit 37,2 $\pm$ 7,13 μ g/L deutlich erhöht gegenüber Kontrollkindern mit 4,13 $\pm$ 0,66 μ g/L (59). In 11 Kleinkindern, die Muttermilch erhielten, betrug der Aluminiumgehalt im Plasma bei der Geburt 9,9 $\pm$ 8,1, nach 1 Monat 8,4 $\pm$ 6,2 und nach 3 Monaten 13,4 $\pm$ 7,8 μ g/L, in solchen nach Verabreichung eines Soja-Kindernährmittels mit 1700 (N = 8) resp. 1600 (N = 6) μ g Aluminium/L 12,4 $\pm$ 10,3, 7,6 $\pm$ 3,4, 12,4 $\pm$ 5,3 resp. 8,2 $\pm$ 6,4, 8,5 $\pm$ 3,4, 10,8 $\pm$ 6,5 μ g/L (37).

Deshalb wurde auch dem Vorkommen von Aluminium in Kindernährmitteln, vorwiegend adaptierte Säuglingsmilch, bereits mehrfach Beachtung geschenkt (3, 4, 7, 11, 13, 18, 19, 23, 24, 30, 35, 36, 55, 64, 66). Die Aluminiumgehalte von Kindernährmitteln, die als Ausgangsbasis Kuhmilch, Kasein, Molke oder Soja hatten, sind in Tabelle 3 zusammenge stellt. Eine Untersuchung an einer grösseren Anzahl an Kindernährmitteln in Pulverform unternahmen Woollard et al. (66) wie auch Dabeka und McKenzie (13). So fanden Woollard et al. (66) an 307 Proben aus 14 Ländern einen mittleren Aluminiumgehalt von 1,4 mg/kg, wobei kein statistischer Unterschied im Median der Aluminiumgehalte der verschiedenen Länder festgestellt wurde. Bei einem Vergleich zwischen 71 Säuglingsmilchproben aus Neuseeland und Australien mit 64 Vollmilchpulverproben aus diesen beiden Ländern ergab sich kein statistisch signifikanter Unterschied im Medianwert (1,27 gegenüber 1,0 mg/kg). Dagegen enthielten Kindernährmittel, die kuhmilchfrei waren und aus Soja hergestellt wurden, bedeutend höhere Aluminiumkonzentrationen, was auch Dabeka und McKenzie (13) bestätigten (Tabelle 3). Die in Tabelle 3 aufgeführten Gehalte wurden teilweise auf das verzehrsfertige Produkt umgerechnet (Tabelle 4). In diese Tabelle wurden auch die Aluminiumgehalte von rekonstituierten Säuglingsmilchen integriert. Lahl und Böckemann (35) fanden nach Ansäuerung auf pH 1,1 eine mehr als 10mal höhere Menge an mobilisierbarem Aluminium. Der Aluminiumgehalt in rekonstituierten Kindernährmitteln kann teilweise mit dem Gehalt des für die Zubereitung verwendeten Trinkwassers erklärt werden. So wies Trinkwasser in Chicago Aluminiumkonzentrationen von 0,174 mg/L auf (60), in Newcastle (Australien) dagegen 0,038 mg/L (14) und in Mineralwasser unter 0,025 mg/L (50).

Tabelle 1. Aluminiumgehalte in Milch und Milchprodukten, publiziert vor dem Jahre 1973 (52)

Milchsorte	Aluminiumgehalt	Einheit + Bemerkungen
Frauenmilch	0,0157 $\pm$ 0,002	% der Milchasche
	0,0001 $\pm$ 0,1	% der Milchasche
	1,2	mg/kg
Kuhmilch, voll	2,0	mg/kg
	0,0276 $\pm$ 0,0038	% der Milchasche
	0,1-0,2	mg/kg
	0,15-0,24	mg/kg
	0,7 $\pm$ 0,41	mg/kg
	0,46 (0,15-0,97)	mg/L
Kuhmilch, mager	0,07	mg/kg, pasteurisiert
	2,0	mg/kg
Kuhmilch, fettlose Bestandteile	17	mg/kg
Schafmilch	1,7	mg/kg
	0,0479 $\pm$ 0,0064	% der Milchasche
	0,0320 $\pm$ 0,0054	% der Milchasche
Ziegenmilch	695	mg/kg
Käse	<2	mg/kg
Cottage	19	mg/kg
Emmentaler	2	mg/kg
Buttermilch	2,6	mg/kg
Ice Cream	0,7	mg/kg
Butter		

Tabelle 2. Durchschnittliche Aluminiumgehalte in Milch und Milchprodukten nach Publikationen der letzten 10 Jahre (mg/kg Frischgewicht)

Lebensmittel	Anzahl	Gehalt an Al (mg/kg)			Lit.
		$\bar{x} \pm s$	xmin	xmax	
Konsummilch	15	0,4 $\pm$ 0,3	0,01	0,96	(57)
Vollmilch	52	0,025 $\pm$ 0,007			(64)
Milch	14	0,014	0,004	0,033	(4)
Milch	1	0,24			(63)
Milch	48	0,098 $\pm$ 0,015			(1)
Milch roh	10	0,009	0,004	0,015	(66)
Milch roh	1	0,041			(2)
Magermilch	36	0,02 $\pm$ 0,007			(64)
Milch fettreduziert	15		0,01	0,02	(39)
Milch 0.5 % Fett	15	<0,02		<0,02	(30)
Milch	58	1,098	0,004	5,706	(6)
UHT-Milch	6	0,028	0,022	0,032	(2)
sonstige Milch	6	2,2 $\pm$ 0,8	1,11	3,28	(57)
Joghurt	12	1,0 $\pm$ 0,6	0,51	2,01	(57)
Joghurt	8	1,281	0,112	4,383	(6)
Kondensmilch	6	0,9 $\pm$ 0,1	0,85	1,14	(57)
Magermilchpulver	8	0,44	0,344	0,552	(64)
Vollmilchpulver	6	0,472	0,24	0,8	(64)
Vollmilchpulver	64	1,048	0,082*	3,103*	(66)
Milchpulver	15	1,1 ($\bar{x}$ = 0,7)	0	5,5	(7)
Milchpulver	1	3,22			(63)
Frischkäse	6	2,0 $\pm$ 0,8	1,16	3,6	(57)
Käse	29	3,2 $\pm$ 3,6	0,41	18,9	(57)
Käse	35	5,06	0,11	20,09	(6)
Rahm	3	0,6 $\pm$ 0,1	0,48	0,69	(57)
Butter	3	1,9 $\pm$ 0,4	1,57	2,38	(57)
Butteröl	4	0,029			(66)

* 95 % Intervall
 $\bar{x}$ = Median

Vorkommen von Aluminium in anderen Lebensmitteln

Daten zur Aluminiumkonzentration verschiedener Lebensmittel haben 1973 Schlettwein-Gsell und Mommsen-Staub (52), 1985 Greger (21) und Candrian (9) sowie 1987 Pennington (47) zusammengestellt.

Eingehende Untersuchungen zum Aluminiumgehalt in verschiedenen Lebensmitteln haben in den letzten Jahren Pennington (48) sowie Treier und Kluthe (57) durchgeführt. Daneben existieren noch einige andere Arbeiten, bei denen jedoch nur wenige Lebensmittel im Vordergrund standen (14) oder bei denen verschiedene Lebensmittel untersucht wurden, aber nur mit einer kleinen Probenzahl (30, 63). Die verschiedenen Lebensmittel unterscheiden sich im Aluminiumgehalt recht deutlich (Tabelle 5). So können beispielsweise in Frischgemüse bis zu 26 (57) und in Tee gar zwischen 300 und 500 mg/kg Aluminium (63) gefunden werden, wobei im Teeaufguss durchschnittlich 1,3 (30) und 3,6 (3, 4) mg/L nachgewiesen wurde.

Tabelle 3. Aluminiumgehalte von Kindernährmitteln in Pulverform

Kindernährmittel, basierend auf	N	Gehalt an Al (mg/kg)			Lit.
		$\bar{x}$	xmin	xmax	
Milch	307	1,4	0,17*	3,84*	(66)
Milch (England)	14	0,7	0,3	1,3	(18)
Milch (England)	14	0,8	0,3	1,3	(3)
Milch (England)	7	0,4	0,2	0,8	(4)
Milch (Italien)	21	1,55	0,4	4,6	(11)
Milch (Singapur)	25	0,74	0	2,4	(7)
Milch (Kanada)	38	0,72 ($\bar{x}=0,5$)	0,19	2,49	(13)
Kasein (Holland)	1	6			(30)
Kasein (Kanada)	2	7			(30)
Kasein-Molke (Schweden)	2	0,6			(30)
Soja	55	18,4 ($\bar{x}=8,3$)	10,4	37,6	(66)
Soja (England)	7	6,0	4,3	7,9	(18)
Soja (England)	7	6,0	4,3	7,9	(3)
Soja (England)	3	3,9	3,7	4,3	(4)
Soja (Italien)	5	5,57	3,0	7,8	(11)
Soja (Holland)	1	14			(30)
Soja (Kanada)	28	9,4	3,2	18,0	(13)
Soja (Singapur)	4	6,1 ($\bar{x}=3,5$)	2,8	15,0	(7)

* 95 % Intervall

$\bar{x}$ = Median

Migration von Aluminium in Lebensmittel

Lebensmittel können auf dem Wege von der Produktion bis zum Konsumenten verschiedentlich mit aluminiumhaltigen Gefäßen und/oder Verpackungen in Kontakt treten. Es besteht durchaus die Möglichkeit, dass unter bestimmten pH-Bedingungen Aluminium in Lebensmittel übergehen kann. Andererseits wurde auch gezeigt, dass beispielsweise der Aluminiumgehalt in Milch, die während 48 Stunden in Glas- oder Polyethylenbehältern aufbewahrt wurde, abnahm, was durch Adsorption erklärt wird (2).

Milch und Milchprodukte

In Milchprodukten kommt Aluminium in Verpackungen, besonders zur Beschichtung von Verpackungsmaterial, zum Einsatz. Doch sind beispielsweise bei Butterverpackungen Bestrebungen im Gange, von aluminiumbeschichtetem Verpackungsmaterial wegzukommen. Gerade bei sauren Milchprodukten stellt sich deshalb die Frage, ob eine Migration von

Aluminium stattfinden kann. Es wird im folgenden unterschieden zwischen dem Einfluss der Verpackung und demjenigen der Erhitzung.

Einfluss der Verpackung

In der Schweiz sind bei Joghurt nur noch wenige Aluminiumdeckel im Gebrauch. Zudem tragen solche auf der Innenseite eine Siegelackschicht, womit eine Aluminiummigration reduziert ist. Auch Butter wird nur noch selten in Aluminiumverpackungen ausgeliefert. Dagegen kommen saure Frischkäse mit Aluminium in Kontakt.

In Blauschimmelkäse, der in einer Aluminiumfolie verpackt war, betrug der Aluminiumgehalt auf der Kontaktfläche des Käses sowie im Innern des Käses weniger als 1 mg/kg (38).

Studien zur Aluminiummigration haben Eklund und Brenne (15) durchgeführt. Drei Proben gesäuerte Magermilch wiesen Aluminiumgehalte von 0,024, 0,026 und 0,062 mg/kg, die sich nach einer Lagerung von 20 Tagen bei 4 °C auf 0,032, 0,023 und 0,04 mg/kg veränderten. Bei Fruchtjoghurt wurden ähnliche Veränderungen nach einer Lagerung von 40 Tagen bei 4 °C festgestellt: zu Beginn der Lagerung waren es 0,155 und 0,143, nach der Lagerung 0,173 und 0,101 mg/kg. Nach diesen Untersuchungen scheint eine Migration von Aluminium aus dem Verpackungsmaterial nicht stattgefunden zu haben, wobei zu erwähnen ist, dass die Aluminiumschicht des Verpackungsmaterials mit einer Lack- oder PE-Schutzschicht überzogen war.

In Proben von Milch oder Früchtejoghurt (3 Typen, pH 3,8 bis 4,5), die in Bechern mit Aluminiumfoliendeckel verpackt waren, wurde keine erhöhte Aluminiumkonzentration im Vergleich zu den Kontrollprodukten festgestellt (alle Proben lagen unterhalb der Bestimmungsgrenze von 0,2 mg/kg). Ein ähnliches Resultat wurde auch mit Orangensaft (pH 3 bis 4) beobachtet, der in mit Aluminiumfolien laminierten Kartons aufbewahrt wurde (38).

Einfluss der Erhitzung

Milch kann im Haushalt in Aluminiumpfannen erhitzt werden. Ein solches Vorgehen kann nach Nagy und Jobst (43) zu einem deutlich erhöhten Aluminiumgehalt in der erhitzten Milch führen. So betrug die Aluminiumkonzentration in der Milch vor dem Kochen 0,0178 mg/L und nach dem Kochen in einer Aluminiumpfanne 1,92, in einer Teflonpfanne 0,025 und in einer emaillierten Pfanne 0,032 mg/L. Nach Arruda et al. (2) erhöhte sich jedoch der Aluminiumgehalt von Milch, die in einer Aluminiumpfanne gekocht wurde, nur geringfügig (0,041 gegenüber je 0,028 mg/L in der Ausgangsmilch und in Gefäßen aus rostfreiem Stahl oder Porzellan).

Andere Lebensmittel

Über die Migration von Aluminium aus Verpackungsmaterial oder aluminiumhaltigen Pfannen in Lebensmitteln existieren verschiedene Angaben. Untersuchungen zum Übergang von Aluminium aus Verpackungsmaterial und aus Kochgeräten in Lebensmitteln wurden bereits verschiedentlich durchgeführt (28, 38, 42, siehe auch 47). Dabei sind vor allem der Einfluss des pH-Wertes sowie des Kochens zu unterscheiden.

In einem kürzlich erschienenen Kreis schreiben des BAG (8) wird festgehalten, dass Laugengebäck bis zu 130 mg/kg Aluminium enthalten kann, was auf den Kontakt der mit Natronlauge behandelten Teiglinge mit aluminiumhaltigen Untensilien zurückgeführt wird. Es wurde ein provisorischer Toleranzwert von 15 mg/kg festgelegt.

Einfluss des pH-Wertes

Leitungswasser (pH=8,2), das eine Aluminiumkonzentration von 0,053 ± 0,002

mg/L enthielt, wurde in Aluminiumflaschen bis zu 120 Stunden aufbewahrt. Nach 32 Stunden wurde ein Plateau von 0,16 ± 0,005 mg/L in einer neuen Flasche und von 0,2 ± 0,005 mg/L in einer gebrauchten Flasche erreicht. In Orangensaft (pH 3,8) wurden während den ersten 5 1/2 Stunden grosse Aluminiummengen gelöst und nach 120 Stunden waren es 1,6 ± 0,2 in der neuen und 2,9 ± 0,5 mg/L in der alten Flasche. In einer noch sauren Lösung (Lindenblütentee, pH 3,1) erhöhte sich die Aluminiummenge noch stärker: so waren es nach 145 Stunden 7,6 resp. 8,2 mg/L (42). Über den zeitlichen Verlauf der Aluminiummigration bei diesen drei pH-Bedingungen orientiert Abbildung 1. In 7 Erfrischungsgetränken, die in Aluminium Dosen während 12 Monaten gelagert wurden, stieg der Aluminiumgehalt, der zum Zeitpunkt 0 bei etwa 0,05 mg/L lag, um 0,3 bis 1,2 mg/L an (54). Saure Cola- wie auch Nicht-Colagetränke in Aluminium Dosen enthielten höhere Aluminiumkonzentrationen als in

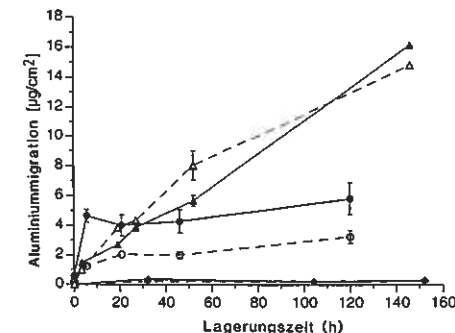


Abbildung 1. Aluminiummigration in Leitungswasser, pH 8,2 (o), Orangensaft, pH 3,8 (o) und Lindenblütentee, pH 3,1 (Δ) während der Lagerung in einer neuen (offene Symbole) und einer gebrauchten (ausgefüllte Symbole) Aluminiumflasche (Volumen 1 L, Oberfläche 500 cm²) (aus Müller et al. (42)) (Abdruck mit freundlicher Genehmigung des Springer-Verlags GmbH & Co. KG, Berlin.)

Glasflaschen (pH unter 3,0). Dagegen unterschied sich der Aluminiumgehalt in Bier nicht, das in beiden Verpackungsarten vertrieben wurde (pH 4,1) (14). Müller et al. (42) setzten Aluminiumfolien verschiedenen pH-Bedingungen aus und massen die Aluminiummigration während 16 Tagen. Dabei erreichte die Migration in Leitungswasser (pH 8,1) eine kumulative Aluminium-Migration von 0,74 µg/cm², in Essigsäure (pH 2,4) eine solche von 115 und in Salpetersäure (pH 2,0) von 162 µg/cm², während aus lackierten Aluminiumkannen nur 10 bis 90 ng/cm² während der gleichen Zeit in die letztere Säure migrierte.

Einfluss des Kochens

In Leitungswasser (1500 mL, pH 8,3), das in frischem Zustand 0,054 mg/L Aluminium enthielt, wurde beim Erreichen der Erhitzungstemperatur ein Aluminiumgehalt von 0,112 in der alten und 1,1 mg/L in der neuen Aluminiumpfanne und nach 60-minütigem leichten Kochen ein solcher von 4,212 resp. 5,0 mg/L gemessen (42). Dagegen fanden Inoue et al. (28) in Leitungswasser nach Kochen während 10 Minuten oder 2 Stunden in einer nicht-behandelten Aluminiumpfanne 0,03 resp. 0,04 mg/L, während nach dem Kochen in einer oberflächenbehandelten Pfanne wie auch nach der Aufbewahrung von Wasser in beiden Pfannen während 24 Stunden bei Raumtemperatur der Aluminiumgehalt unter der Nachweisgrenze von 0,03 mg/L lag (Tabelle 6).

Bei üblicher Zubereitung in alten und neuen unbeschichteten Aluminiumpfannen enthielten pürierte Tomaten (1500 mL; pH=4,2) nach 60 Minuten Kochzeit 13 ± 2 resp. 4,5 ± 0,1 mg/kg Aluminium. Die frische Tomatensauce enthielt dagegen nur 0,16 ± 0,03 mg/kg Aluminium

Tabelle 4. Aluminiumgehalte von Kindernährmitteln (rekonstituiert oder umgerechnet auf flüssiges Produkt)

Kindernährmittel, basierend auf	N	Gehalt an Al (mg/L)			Lit.
		$\bar{x}$	xmin	xmax	
Milch	14	0,11	0,03	0,20	(3)
Milch	7	0,06	0,03	0,12	(4)
Milch: voll-, teilweise adaptiert	12	0,12	0,05	0,26	(11)
Milch: modifiziert	5	0,36	0,11	0,60	(11)
Milch: rekonstituiert	28	0,31	0,014	1,95	(12)
Milch: konzentriert flüssig	35	0,22 ($\bar{x}=0,18$)	0,017	0,56	(13)
Milch	14	0,11	0,03	0,20	(18)
Milch: frisch zubereitet	23	$\bar{x}=0,21$	0,10	0,48	(23)
Folgemilchpräparate	38	$\bar{x}=0,16$	0,07	0,59	(23)
Milch: volladaptiert	4	0,062	0,036	0,116	(35)
Milch: teiladaptiert	12	0,017	0,001	0,037	(35)
Folgemilchpräparate	2	0,027	0,025	0,029	(35)
Kaseinhydrolysat	7	0,77	0,63*	0,91*	(24)
Molke	24	0,17	0,15*	0,18*	(24)
Soja	7	0,98	0,64	1,34	(3)
Soja	3	0,60	3,7	4,3	(4)
Soja	5	0,72	0,39	1,01	(11)
Soja konzentriert	16	1,41 ($\bar{x}=1,21$)	0,5	2,3	(13)
Soja	7	0,98	0,64	1,34	(18)
Soja	7	0,53	0,47*	0,60*	(24)
Beikost	4	0,12	0,07	0,17	(23)

* 95 % Intervall

$\bar{x}$ = Median

(42). Inoue et al. (28) setzten unbehandelte und oberflächenbehandelte Aluminiumpfannen Essigsäure (0,4 g/L) oder NaHCO₃ (0,05 g/L) während 24 Stunden bei Raumtemperatur, einem 10-minütigen oder 2-stündigen Kochen aus und

Tabelle 5. Aluminiumgehalte in verschiedenen Lebensmitteln

Lebensmittel	N	Al-Gehalt (mg/kg oder L)				
		Literatur	(57)	(3, 4)	(30)	(14, 62)
Fleisch	37/45		1,2±0,6		0,039	
Wurst u. Fleischwaren	36		2,2±1,8			
Fisch u. Fischwaren	7/4		1,5±1,3		0,375	
Eier	3		0,4±0,2			
Brot u. Backwaren	18		1,9±1,0			
Nährmittel	51/23		2,9±1,9		1,1	
Kartoffeln	7/3		7,2±2,9		0,014	
Frischgemüse	75/23		5,6±5,6		0,075	
Gemüseprodukte	44		14,9±13,6			
Frischobst	27/5		3,3±2,9		0,088	
Südfrüchte	24		2,1±3,1			
Obstprodukte	17		0,9±0,5			
Süßwaren	19		3,0±1,8			
Kaugummi	8					36-123
Erfrischungsgetränke	12/6		0,65±0,75		0,098	
Mineralwässer	10/4		0,08±0,07		0,005	
Teeaufguss	13/5			3,6	1,3	
Trinkwasser	12/1				0,002	0,04
Bier	6/14				0,125	0,15
Alkoholische Getränke	12		0,38±0,07			

Tabelle 6. Aluminiummigration aus Aluminiumpfannen in Lebensmittel-simulierende Lösungsmittel (mg/L) (nach 28)

Lösungsmittel	Material	Raum-	Erhitzen während	
		temperatur		
		24 h	10 min	2 h
Wasser	unbehandelt	nn	0,03	0,04
	Oberfläche-beh.	nn	nn	nn
Essigsäure	unbehandelt	$2,9 \pm 0,03$	70 ± 3	501 ± 5
	Oberfläche-beh.	$0,58 \pm 0,41$	41 ± 2	161 ± 16
NaHCO ₃ -Lösung	unbehandelt	$1,34 \pm 0,04$	167 ± 16	323 ± 22
	Oberfläche-beh.	$1,35 \pm 0,24$	63 ± 5	263 ± 10

nn = unter der Nachweisgrenze von 0,03 mg/L

erhielten die in Tabelle 6 aufgeführten Aluminiummengen. Diese sind bedeutend höher als die beispielsweise von Müller et al. (42) erhaltenen Mengen.

Zur täglichen Aluminiumzufuhr über die Nahrung

Die täglich über die Nahrung zugeführte Aluminiummenge wurde bereits in verschiedenen Studien ermittelt. Dabei zeigten sich deutliche Unterschiede zwischen den einzelnen Ländern (Tabelle 7). Nach Pennington und Schoen (49) tragen Lebensmittel, die aluminiumhaltende Zusatzstoffe enthalten, wie Getreideprodukte und Schmelzkäse am stärksten zur Aluminiumzufuhr bei. Die in Schweden (30) erhöhten Zufuhren können teilweise auf die Verwendung verschiedener Aluminiumverbindungen bei der Lebensmittelherstellung wie in Lebensmittelfarbstoffen (metallisches Aluminium), in Antiklumpmitteln (Natrium-Aluminium-Silikat), in Backpulver (Natrium-Aluminium-Phosphat) und in Stabilisatoren (Kalium-Aluminium-Sulfat) zurückgeführt werden. Dass solche Zusätze die Aluminiumaufnahme beeinflussen, zeigte sich am Beispiel der schwedischen Duplikate. Wurden aus diesen die Aluminiumgehalte von Schokolade/Minze-Cake in sechs dieser Diäten entfernt, sank die Aluminiumaufnahme auf unter 10 mg/Tag (30). Treier und Kluthe (57) haben anhand der Verzehrangaben aus dem Deutschen Ernährungsbericht 1984 und analytisch bestimmten Gehalten von Lebensmitteln eine Aluminiumzufuhr aus pflanzlichen Lebensmitteln von 5,4 ± 4,7 und aus tierischen Lebensmitteln von 1,7 ± 1,5 mg/Tag ermittelt, während Treptow und Askar (58) mit den gleichen Verzehrangaben eine tägliche Aluminiumzufuhr von 10,5 und 8,4 mg für Männer und Frauen im Alter zwischen 36 und 50 Jahren berechneten. Weitere Angaben zur Aluminiumzufuhr über verschiedene Diäten finden sich bei Pennington (47). Die FAO/WHO-Expertengruppe über Lebensmittelzusatzstoffe (29) hat im Jahre 1989 eine provisorisch tolerierbare wöchentliche Aluminium-Aufnahme von 7 mg/kg Körpergewicht festgelegt. Dies entspricht bei einem 20 kg schweren Kind einer Aufnahme von 20 mg/Tag und bei einem 60 kg schweren Erwachsenen einer solchen von 60 mg/Tag.

Schlussfolgerung

In verschiedenen Untersuchungen hat sich gezeigt, dass Aluminium bei neutralen pH-Werten nicht aus Aluminiumflaschen, -kannen oder -folien in Leitungs-

wasser migriert. Andere Verhältnisse liegen jedoch bei sauren Bedingungen vor. Wie die Beispiele des Orangensaftes oder des Lindenblütentees in Aluminiumflaschen zeigen, gehen bei einer Lagerung über mehrere Tage beträchtliche Aluminiummengen in das Produkt über. Aus diesen Beobachtungen ist abzuleiten, dass auch beim Joghurt (pH um 4), der in Aluminiumkannen über mehrere Stunden gelagert wird, mit einer Aluminiummigration in kleinen Mengen zu rechnen ist. Nach Eklund und Brenne (15) sowie Liukkonen-Lilja und Piepponen (38) jedoch migrierte Aluminium nicht aus dem Verpackungsmaterial. Müller et al. (42) haben unter anderem festgestellt, dass aus lackierten Oberflächen von Aluminiumkannen, die mit 0,8 g/L HNO₃ während 14 Tagen in Kontakt standen, nur eine geringe Migration stattfand. Diese war 1000 bis 10000 mal geringer als diejenige von Aluminiumfolien, die unter gleichen Bedingungen gehalten wurden. Daraus kann abgeleitet werden, dass in Aluminiumkannen, in denen saure Milchprodukte hergestellt, gelagert und transportiert werden sollen, eine Aluminiummigration kaum stattfinden kann. Als Vorsichtsmassnahmen und im Sinne einer Verminderung eines gesundheitlichen Risikos sollten solcherart zum Einsatz gelangende Aluminiumkannen zumindest eine lackierte Oberfläche aufweisen.

Tabelle 7. Tägliche Pro-Kopf-Aufnahme an Aluminium

Studie	Land	Art der Studie	Aluminium (mg/Tag)	Lebensmittel (g/Tag)	Energie (kcal/Tag)	Al/Energie (mg/Mcal)
Knutti (32)	Schweiz	Tagesrationen (N= je 10)				
		Personalrestaurant	4,4±1,8	1770	2283	1,9
		Spital	2,4±0,8	2272	2133	1,1
		vegetarisches Restaurant	3,4±1,6	1816	2053	1,7
		Rekrutenschule	3,2±0,6	2226	2569	1,2
Treier (57)	Deutschland	Tagesrationen:				
		Vollkost (N=31)	3,5±1,0			1,5
		vegetarische Vollk. (N=28)	4,2±1,3			1,7
		eiweissreduz. Kost (N=15)	3,5±0,8			1,6
		Reduktionskost (N=20)	2,1±0,4			1,4
Treier (57)	Deutschland	berechnet	3,9±3,4	2214		
Treptow (58)	Deutschland	berechnet	10,5/8,4			
NN (45)	England	Total-Diät	3,9			
Greger (21)	USA	geschätzt	26,5	3076		
Pennington (47)	USA	Total-Diät	8,8	2216	1466	6,1
Pennington (49)	USA	Total-Diät:				
		Kinder 6-11 Monate	0,7			
		Jugendliche 14-16 Jahre	11,5			
		erwachsene Männer	8-9			
		erwachsene Frauen	7			
Ellen (16)	Niederlande	Duplikat	3,1	2230	1853	1,7
Jorhem (30)	Schweden	Duplikat (N=105)	13	2342	1863	7,0

Literatur

- ANDERSON, R.R.: Comparison of trace elements in milk of four species. *J. Dairy Sci.* **75**, 3050-3055 (1992)
- ARRUDA, M.A.Z., QUINTELA, M.J., GALLEGU, M., VALCARCEL, M.: Direct analysis of milk for aluminium using electrothermal atomic absorption spectrometry. *Analyst* **119**, 1695-1699 (1994)
- BAXTER, M.J., BURRELL, J.A., MASSEY, R.C.: The aluminium content of infant formula and tea. *Food Addit. Contam.* **7**, 101-107 (1990)
- BAXTER, M.J., BURRELL, J.A., CREWS, H., MASSEY, R.C.: Aluminium levels in milk and infant formulae. *Food Addit. Contam.* **8**, 653-660 (1991)
- BESSON, J.-M., DANIEL, R.Ch.: Dosage des éléments minéraux dans les plantes et contamination des échantillons par des particules terreuses. *Schweiz. Landw. Forsch.* **17**, 149-163 (1978)
- BJORKSTEN, J., YAEGER, L.L., WALLACE, T.: Control of aluminium ingestion and its relation to longevity. *Int. J. Vit. Nutr. Res.* **58**, 462-465 (1988)
- BLOODWORTH, B.C., HOCK, C.T., BOON, T.O.: Aluminium content in milk powders by inductively-coupled argon plasma-optical emission spectrometry. *Food Addit. Contam.* **8**, 749-754 (1991)
- Bundesamt für Gesundheitswesen, Hauptabteilung Lebensmittel und Gifte: Aluminium in Laugengebäck. *Kreisschreiben* Nr. 5, 20. Juli 1994
- CANDRIAN, U.: Vorkommen und toxikologische Bedeutung von Aluminium in der Nahrung. *Mitt. Gebiete Lebensm. Hyg.* **76**, 570-608 (1985)
- CANDY, J.M., KLINOWSKI, J., PERRY, R.H., PERRY, E.K., FAIRBURN, A., OAKLEY, A.E., CARPENTER, T.A., ATACK, J.R., BLESSED, G., EDWARDS, J.A.: Aluminosilicates and senile plaque formation in Alzheimer's disease. *Lancet* **I**, 354-357 (1986)
- CONI, E., BELLOMONTE, G., CAROLI, S.: Aluminium content of infant formulas. *J. Trace Elem. Electrolyt. Health Dis.* **7**, 2, 83 - 86, 1993
- CURTIS, M.de, NAPOLITANO, E., CICCIMARRA, F., MELLONE, M.C., RIO, A. del: Aluminium content in human milk and in infant formulas. *Eur. J. Clin. Nutr.* **43**, 887 (1989)
- DABEKA, R.W., MCKENZIE, A.D.: Aluminium levels in Canadian infant formulae and estimation of aluminium intakes from formulae by infants 0-3 months old. *Food Addit. Contam.* **7**, 275-282 (1990)
- DUGGAN, J.M., DICKESON, J.E., TYNAN, P.F., HOUGHTON, A., FLYNN, J.E.: Aluminium beverage cans as a dietary source of aluminium. *Med. J. Australia* **156**, 604-605 (1992)

- 15 EKLUND, T., BRENNE, E.: (Untersuchungen zur Aluminiummigration in Milchprodukten). Meieriposten **78**, 396-398 (1989); zitiert nach Milchwissenschaft **45**, 64 (1990)
- 16 ELLEN, G., ELLEN, G., EGMOND, E., LOON, J.W.V., SAKERTIAN, E.T., TOLSMA, K.: Dietary intakes of some essential and non-essential trace elements, nitrate, nitrite and N-nitrosamines by Dutch adults: estimated via a 24-hour duplicate portion study. Food Addit. Contam. **7**, 207-221 (1990)
- 17 FINDLOW, J.A., DUFFIELD, J.R., WILLIAMS, D.R.: The chemical speciation of aluminium in milk. Chem. Specific. Bioavail. **2**, 3-32 (1990)
- 18 FISHER, C.E., KNOWLES, M.E., MASSEY, R.C., MCWEENY, D.J.: Levels of aluminium in infant formulae. Lancet **I**, 1024 (1989)
- 19 FREUNDLICH, M., ABITBOL, C., ZILLERUELO, G., STRAUSS, J., FAUGERE, M.-C., MALLUCHE, H.M.: Infant formula as a cause of aluminium toxicity in neonatal uraemia. Lancet **II**, 527-529 (1985)
- 20 GORSUCH, T.T.: The destruction of organic matter. Pergamon Press, Oxford (1970)
- 21 GREGER, J.L.: Aluminum content of the American diet. Food Technol. **39**, 73-80 (5) (1985)
- 22 GREGER, J.L.: Aluminium metabolism. Ann. Rev. Nutr. **13**, 43-64 (1993)
- 23 HASCHKE, F., HEIL, M., STEFFAN, I., CAMAYA, Z., PIETSCHNIG, B., BÖCK, A., HUEMER, C.: Aluminium in European infant formulas and in breast milk. 6th Int. Trace Elem. Sympos. **5**, 1368-1373 (1989)
- 24 HAWKINS, N.M., COFFEY, S., LAWSON, M.S., DELVES, H.T.: Potential aluminium toxicity in infants fed special infant formula. J. Ped. Gastroenterol. Nutr. **19**, 377-381 (1994)
- 25 HERBAUTS, J., DEHALU, F.-A., GRUBER, W.: Quantitative determination of plant opal content in soils, using a combined method of heavy liquid separation and alkali dissolution. Eur. J. Soil Sci. **45**, 379-385 (1994)
- 26 HOUBA, V.J.G., NOVOZAMZKY, I., LEE, J.J.van der: Inorganic chemical analysis of plant tissue: possibilities and limitations. Neth. J. Agric. Sci. **34**, 449-456 (1986)
- 27 INHAT, M.: Development of a new series of agricultural/food reference materials for analytical quality control of elemental determinations. J. AOAC Int. **77**, 1605-1627 (1994)
- 28 INOUE, T., ISHIWATA, H., YOSHIIHARA, K.: Aluminum levels in food-simulating solvents and various foods cooked in aluminum pans. J. Agric. Food Chem. **36**, 599-601 (1988)
- 29 Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. Evaluation of certain Food additives and contaminants, 33rd report. World Health Organization, Technical Report Series No. 776 (1989)
- 30 JORHEM, L., HAEGGLUND, G.: Aluminium in foodstuffs and diets in Sweden. Z. Lebensm. Unters. Forsch. **194**, 38-42 (1992)
- 31 KLEIN, G.L.: Aluminum in parenteral solutions revisited - again. Am. J. Clin. Nutr. **61**, 449-456 (1995)
- 32 KNUTTI, R., ZIMMERLI, B.: Untersuchung von Tagesrationen aus schweizerischen Verpflegungsbetrieben. III. Blei, Cadmium, Quecksilber, Nickel und Aluminium. Mitt. Gebiete Lebensm. Hyg. **76**, 206-232 (1985)
- 33 KOCH, H., REICH, H., FRANKE, D.: Aluminium toxicity in uraemic babies. Lancet **II**, 831 (1985)
- 34 KOCH, H., REICH, H., FRANKE, D., DELLING, G.: Iatrogene Aluminium-osteopathie bei einem urämischem Säugling. Mschr. Kinderheilkde **134**, 279-281 (1986)
- 35 LAHL, H., BÖCKMANN, J.: Zur Aluminiumkontamination von Kindernährmitteln. Nieren Hochdruckkrankh. **17**, 224-228 (1988)
- 36 LAWSON, M., MILLA, P.J., HARPER, J.L.: Aluminium and infant formulae. Lancet **I**, 614-615 (1989)
- 37 LITOV, R.E., SICKLES, V.S., CHAN, G.M., SPRINGER, M.A., CORDANO, A.: Plasma aluminium measurements in term infants fed human milk or a soy-based infant formula. Pediatrics **84**, 1105-1107 (1989)
- 38 LIUKKONEN-LILJA, H., PIEPPONEN, S.: Leaching of aluminium from aluminium dishes and packages. Food Addit. Contam. **9**, 213-223 (1992)
- 39 MATTSSON, P., HAEGGLUND, J., JÖNSSON, H., HOFSTEN, B.V.: [Milk has a low content of aluminium]. Var Föda **36**, 414-417 (1984), zitiert nach Nutr. Abstr. Rev. **58**, 893 (1988)
- 40 MENGEL, K., KIRKBY, E.A.: Principles of plant nutrition. International Potash Institute, Bern (1978)
- 41 MOTKOSKY, N., KRATOCHVIL, B.: Characterisation of trace amounts of aluminium in biological reference materials by electrothermal atomic absorption spectrometry. Analyst **118**, 1313-1316 (1993)
- 42 MÜLLER, J.P., STEINEGGER, A., SCHLATTER, C.: Contribution of aluminium from packaging materials and cooking utensils to the daily aluminium intake. Z. Lebensm. Unters. Forsch. **197**, 332-341 (1993)
- 43 NAGY, E., JOBST, K.: Aluminium dissolved from kitchen utensils. Bull. Environm. Contam. Toxicol. **52**, 396-399 (1994)
- 44 NN: Maladie d'Alzheimer. 2ème édition. Institut de produits de synthèse et d'extraction naturelle, Paris (1986)
- 45 NN: Aluminium in food. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, Food Surveillance Paper, 39, 1 - 52 (1993), zitiert nach Milchwissenschaft **49**, 582-583 (1994)
- 46 PARK, Y.W., CHUKWU, H.I.: Trace mineral concentrations in goat milk from French-Alpine and Anglo-Nubian breeds during the first 5 months of lactation. J. Food Compos. Anal. **2**, 161-169 (1989)
- 47 PENNINGTON, J.A.T.: Aluminium content of foods and diets. Food Addit. Contam. **5**, 161-232 (1988)
- 48 PENNINGTON, J.A.T., JONES, J.W.: Aluminium in health, a critical review. Dekker, New York, 67-100 (1988), zitiert nach (30)
- 49 PENNINGTON, J.A.T., SCHOEN, S.A.: Estimates of dietary exposure to aluminium. Food Addit. Contam. **12**, 119-128 (1995)
- 50 PLESSI, M., MONZANI, A.: Aluminium determination in bottled mineral waters by electrothermal atomic absorption spectrometry. J. Food Compos. Anal. **8**, 21-26 (1995)
- 51 PRIEST, N.D.: The bioavailability and metabolism of aluminium compounds in man. Proc. Nutr. Soc. **52**, 231-240 (1993)
- 52 RASBERRY, S.D.: Worldwide production of certified reference materials. 1994 Status report. ISO/REMCO
- 53 SCHLETTWEIN-GSELL, D., MOMMEN-STRUB, S.: Spurenelemente in Lebensmitteln. XII. Aluminium. Int. Z. Vit. Ern. Forsch. **43**, 251-263 (1973)
- 54 SERUGA, M., GRGIC, J., MANDIC, M.: Aluminium content of soft drinks from aluminium cans. Z. Lebensm. Unters. Forsch. **198**, 313-316 (1994)
- 55 SEMMEKROT, B.A., MONNENS, L.A.H., BAADENHUYSEN, H.: Levels of aluminium in infant formulae. Lancet **I**, 1024-1025 (1989)
- 56 SULLIVAN, D.M., KEHOE, D.F., SMITH, R.L.: Measurement of trace levels of total aluminium in foods by atomic absorption spectrometry. J. Assoc. Off. Anal. Chem. **70**, 118-120 (1987)
- 57 TREIER, S., KLUTHE, R.: Aluminiumgehalte in Lebensmitteln. Ernährungs-Umschau **35**, 307-312 (1988)
- 58 TREPTOW, H., ASKAR, A.: Ernährungsbedingte Aufnahme von Aluminium durch die Bevölkerung der Bundesrepublik Deutschland. Ernährungs-Umschau **34**, 364-367 (1987)
- 59 TSOU, V.M., YOUNG, R.M., HART, M.H., VANDERHOOF, J.A.: Elevated plasma aluminum levels in normal infants receiving antacids containing aluminum. Pediatrics **87**, 148-151 (1991)
- 60 TURNQUEST, E.M., HALLENBECK, W.H.: Blood aluminum levels as a function of aluminum intake from drinking water. Bull. Environm. Contam. Toxicol. **46**, 554-560 (1991)
- 61 VAESSEN, H.A.M.G., KAMP, C.G.VAN

DE, SZTEKE, B.: Aluminium determination in food matrices. IUPAC check sample survey of analytical performance. Z. Lebensm. Unters. Forsch. **194**, 456-460 (1992)

- 62 VINAS, P., CAMPILLO, N., LOPEZ GARCIA, I., HERNANDEZ CORDOBA, M.: Determination of aluminium in chewing gum samples using electrothermal atomic-absorption spectrometry and slurry sample introduction. Fres. J. Anal. Chem. **351**, 695-696 (1995)
- 63 WANG, Y., LU, C., XIAO, Z., WANG, G., KUANG, S.S., RIGSBY, E.J.: Determination of aluminum in foods by stabilized temperature platform graphite furnace atomic absorption spectrometry. J. Agric. Food Chem. **39**, 724-726 (1991)
- 64 WILLIS, C.: Aluminium content of milk, milk powder and infant formulae. Brief Commun. XXIII. Int. Dairy Congr. **1**, 245 (1990)
- 65 WILLS, M.R., SAVORY, J.: Aluminium poisoning: dialysis encephalopathy, osteomalacia and anaemia. Lancet **II**, 29-34 (1983)
- 66 WOOLLARD, D.C., PYBUS, J., WOOLLARD, G.A.: Aluminium concentrations in infant formulae. Food Chem. **37**, 81-94 (1990)
- 67 WYTENBACH, A., BAJO, S., TOBLER, L., ZIMMERLI, B.: The concen-

tration of 19 trace elements in the Swiss diet. In Brätter, P., Schramel, P. (eds.): Trace element - analytical chemistry in medicine and biology, Vol. 4. W.de Gruyter, Berlin, 169-178 (1987)

Résumé

L'aluminium dans le lait et les produits laitiers en comparaison avec d'autres aliments - a revue

R. SIEBER et R. Ch. DANIEL

Schweiz. Milchw. Forschung **24**, 3 39-47 (1995)

Chez l'être humain on associe l'aluminium à divers dysfonctionnements cliniques. Les aliments peuvent être, parmi d'autres, sources d'aluminium. Le lait en contient par exemple des concentrations de l'ordre de 0,1 mg/l, les produits laitiers et les aliments pour enfants, de l'ordre de plus de 1 mg/kg. Dans le lait, l'aluminium apparaît principalement sous la forme d'un complexe doublement chargé (négativement) de citrate d'aluminium. Une migration de l'aluminium du matériel d'emballage dans une denrée alimentaire

dépend généralement de l'acidité (pH) de celle-ci. Toutefois de surfaces laquées de boîtes en aluminium on n'a constaté qu'une faible migration de cet élément dans un aliment acide.

Summary

Aluminium in milk and dairy products in comparison to other foods - a review

R. SIEBER and R. Ch. DANIEL

Schweiz. Milchw. Forschung **24**, 3 39-47 (1995)

Aluminium can cause different clinical diseases in humans. Foods too may be a source of aluminium. Concentrations of aluminium in the order of 0,1 mg/L have been found in milk and of more than 1 mg/kg in dairy products and infant formulae. Aluminium occurs in milk mainly in the form of charged aluminium-citrate-complexes. A migration of aluminium in a food is basically dependent on the pH conditions. Only a small migration takes place from a lacquered surface of aluminium cans into an acid food.

Fromage Käse Formaggio
Appenzeller®
 Einzigartig würzig