

Aluminium, schadelijk voor de gezondheid?

*Dr. G. B. van der Voet
AZL, Afdeling Toxicologie
Rijnsburgerweg 10, 2333 AA Leiden*

Dit artikel is een herziening van Chemische Feitelijkeid nr. 074 (oktober 1990).

1.	Inleiding	142- 3
2.	Chemische en fysische eigenschappen	142- 3
3.	Voorkomen, productie en toepassing	142- 4
4.	Gevolgen voor gezondheid	142- 5
5.	Gevolgen voor milieu	142- 7
6.	Analyse	142- 8
7.	Regelgeving	142- 8
8.	Literatuur	142- 9

1. Inleiding

Aluminium is een van de meest voorkomende elementen in de aardkorst. Het metaal kent veel uiteenlopende industriële toepassingen, het wordt zelfs als geneesmiddel gebruikt. Lange tijd heeft men aluminium beschouwd als een biologisch inactieve, niet giftige stof. Recent is echter in deze opvatting een kentering gekomen door het signaleren van de giftige effecten van aluminium, onder andere op het zenuwstelsel bij mensen. Tengevolge van de verzuring van het milieu kan het gebonden aluminium als oplosbaar aluminiumzout vrij in de bodem en in het oppervlaktewater terechtkomen. Hierbij worden steeds meer ecotoxicologische effecten gesignaleerd.

2. Chemische en fysische eigenschappen

Aluminium (atoomnummer 13, symbool Al) is ondergebracht in hoofdgroep III van het periodiek systeem samen met boor, gallium, indium en thallium (atoomnummers resp. 5, 31, 49 en 81).

Het atoomgewicht van aluminium is 27,0. Het element aluminium is een metaal met een dichtheid van 2,7 g/cm³. Dit komt overeen met eenderde van de dichtheid van ijzer. Aluminium heeft een smeltpunt van 660,4 °C. Aluminium heeft de eigenschappen van zowel een metaal als van een metalloïde. Het komt voor in anorganische maar ook in organische verbindingen. In anorganische verbindingen heeft aluminium een driewaardig positieve valentie (Al³⁺).

Zuiver aluminiumoxide (Al₂O₃) is onoplosbaar in water. Er bestaan echter in water oplosbare complexen van aluminiumoxide (Al₂O₃·nH₂O) die zowel protonen (H⁺) als hydroxide-ionen (OH⁻) kunnen binden.

Aluminiumhydroxide heeft een amfoteer karakter, het gedraagt zich als base als het opgelost wordt in alkalisch milieu. De oplosbaarheid neemt echter toe met zowel dalende als stijgende pH.

Aluminiumsulfaat (Al₂(SO₄)₃) en aluminiumchloride (AlCl₃) lossen in water op en vormen hierbij als gevolg van hydrolyse een zure oplossing. Aluminiumfosfaat (AlPO₄) heeft een uiterst lage oplosbaarheid in water.

3. Voorkomen, productie en toepassing

Aluminium is een veel voorkomend metaal. Ongeveer acht gewichtsprocent van de aardkorst bestaat uit aluminiumverbindingen. Veelal wordt aluminium aangetroffen als silicaat. Aluminium wordt gewonnen uit bauxiet, een zeer onzuiver waterhoudend aluminiumoxide, dat ook veel ijzeroxide bevat.

Zuiver metallisch aluminium wordt geproduceerd door elektrolyse van aluminiumoxide. Grote hoeveelheden energie zijn nodig voor de elektrolytische reductie van aluminiumoxide tot aluminium. Aluminiumverwerkende industrieën zijn daarom gewoonlijk in de buurt van relatief goedkope krachtbronnen gelegen, bijvoorbeeld op plaatsen waar elektriciteit uit waterkracht beschikbaar is.

Aluminium wordt gebruikt als verpakkingsmateriaal. Het wordt verwerkt in huishoudelijke apparaten. Ook wordt aluminium toegepast in de auto- en vliegtuigindustrie. Vroeger werden met name aluminiumsulfaten toegepast als waterzuiveringsmiddelen. In Nederland gebeurt dit tegenwoordig niet meer, in Engeland en de meeste andere Europese landen echter nog steeds. Aluminiumverbindingen worden als voedseladditieven gebruikt. Bovendien vindt een aantal aluminiumverbindingen een toepassing als geneesmiddel; aluminiumoxidehydraat is een bestanddeel van antacida (zuurbindende middelen), aanbevolen voor de behandeling van maagzweren en gastritis (maagontsteking), en van fosfaatbinders gebruikt voor de regulatie van de fysiologische fosfaatspiegel bij nierpatiënten.

Tabel 1. *Karakteristieke aluminiumverbindingen*

aluminiumsilicaat	belangrijkste mineraal
aluminiumoxide	belangrijkste erts (bauxiet)
(natrium)aluminiumsulfaat	waterzuiveringsmiddel, voedseladditief
aluminiumoxidehydraat	antacidum, fosfaatbinder
(natrium)aluminiumfosfaat	voedselcontaminant

Tabel 2. *Aluminiumgebruik in Nederland*

Toepassing	% van het totaal (1994)
transport	3.7
techniek	4.8
electrotechniek	3.7
bouw, constructie en openbare werken	54.1
chemie, voedingssector en landbouw	4.8
verpakkingen	< 0.1
huishoudelijke apparaten en kantoorartikelen	2.2
andere	26.6

4. Gevolgen voor gezondheid

Uit het voorgaande moge blijken dat de kans om aan aluminiumverbindingen blootgesteld te worden zeer groot is. Aluminium bevindt zich in feite overal, in vast en vloeibaar voedsel, in water, in lucht. Door inhalatie van aluminiumoxide-bevattend stof en orale opname kan relatief veel aluminium het menselijk lichaam binnenkomen (2-6 mg per dag bij kinderen en 6-14 mg per dag bij volwassenen). Toch zijn de aluminiumconcentraties in het bloed en in de weefsels gewoonlijk zeer laag. Deze discrepantie wordt toegeschreven aan het feit dat aluminiumverbindingen na inhalatie en orale toediening niet of nauwelijks geabsorbeerd, dat wil zeggen in het bloed opgenomen worden. Eventueel geabsorbeerd aluminium wordt bij gezonde mensen bovendien uitgescheiden in de urine. Het aluminium dat zich desondanks in het organisme bevindt heeft overigens nog steeds geen bekende fysiologische functie. De gevolgen van aluminiumdeficiënties zijn tot op heden niet beschreven.

Onder extreme omstandigheden echter blijkt aluminium te kunnen leiden tot vergiftigingsverschijnselen. De zogenaamde bauxietlong („Shaver's disease”), een vorm van longfibrose, kan optreden bij werknemers in de bauxietmijnen en de aluminiumverwerkende industrie na langdurige inhalatie van aluminiumoxide-bevattend stof.

Bij nierpatiënten die langdurig gedialyseerd worden kunnen neurologische verschijnselen optreden. De zogenaamde dialyse-encefalopathie wordt gekenmerkt door dementie, spraak- en loopstoor-

nissen, myoclonieën (heftige spiercontractie), insulpen (toevallen) en tremoren (trillingen) en wordt in verband gebracht met de aluminiumbevattende geneesmiddelen die oraal aan deze nierpatiënten worden toegediend om verhoging van het fosfaatgehalte in het lichaam te voorkomen. De dialyse-encefalopathie treedt dikwijls op in combinatie met een osteromalacie (botverweking) en een vorm van anaemie (bloedarmoede). Aluminium accumuleert kennelijk ook in botten en interfereert bovendien met de bloedvorming. Door gebruik van aluminiumvrij dialysemedium blijkt het aantal gevallen van dialyse-encefalopathie te verminderen. Het aluminiumhydroxide, dat nog steeds in grote hoeveelheden oraal aan nierpatiënten wordt toegediend, wordt tegenwoordig aangewezen als belangrijkste bron van systemische aluminiumbelasting.

Aluminium blijkt echter ook andere media voor parenteraal toe te dienen stoffen te kunnen contamineren; hierbij gaat het met name om intraveneus toegediende voeding en om bloedvervangingsmiddelen (albumine). Ook bij gebruik van deze media kan systemische accumulatie van aluminium optreden die tot giftige effecten leidt. In dit verband vormen wederom de patiënten die een verminderde nierfunctie hebben een risicogroep.

Bij een aantal andere, neurologische aandoeningen zoals de dementie van Alzheimer, maar ook bij een bepaalde vorm van amyotrofische laterale sclerose (ziekte van het zenuwstelsel die leidt tot spieratrofie) en Parkinsondementie wordt eveneens een rol voor aluminium gesuggereerd. De afwijkingen die optreden bij nierdialysepatiënten zijn op een aantal punten anders dan de verschijnselen die worden waargenomen bij Alzheimer-patiënten. Bij patiënten met de dementie van Alzheimer wordt in de zenuwcellen waarin zich gedegenerende neurofibrillen (eiwitvezels in het cytoplasma) bevinden – een belangrijk kenmerk bij deze ziekte – een verhoging van aluminium gezien. Bovendien wordt in de kern van de seniele plaques – een ander essentieel kenmerk – een ophoping van aluminium aangetroffen. Het is niet duidelijk of deze verhoging van het aluminiumgehalte een oorzaak dan wel een gevolg is van het ziekteproces.

Of, en in welke mate aluminium van belang is bij de modulatie van het proces van neurologische beschadiging, leidend tot de dementie van Alzheimer, is nog steeds een onderwerp van wetenschappelijke

discussie. Gesteld dient te worden dat er tot nu toe geen bewijs bestaat dat aluminium op zichzelf de oorzaak is van de dementie van Alzheimer.

Sommige onderzoekers hebben vastgesteld dat aluminium onder bepaalde omstandigheden bij dierexperimenten dementie-achtige beelden en neurofibrillaire degeneraties kan induceren. De hypothese die hierbij in het geding is, dat aluminium interfereert met het metabolisme van eiwitten die van belang zijn voor de structuur en de stevigheid van de zenuwcel (eiwitten van het cytoskelet), wordt op dit moment door velen onderzocht.

Nogmaals, aluminium blijkt – onder kunstmatige condities waarbij sprake is van een zeer hoge blootstelling – wel degelijk giftige effecten te kunnen veroorzaken bij de mens, zoals in het geval van Shaver's disease en de dialyse-gerelateerde afwijkingen. Echter de rol die aluminium speelt in enige andere ziekte is vooralsnog onduidelijk.

5. Gevolgen voor milieu

Tengevolge van de verzuring van het milieu komen oplosbare aluminiumverbindingen vrij in bodem en oppervlaktewater. Dit betekent dat aluminium een bedreiging lijkt te gaan worden voor planten en dieren. Het aluminium in veel landbouwgronden zou een potentieel gevaar kunnen opleveren voor gekweekte landbouwgewassen. Recent worden ook steeds meer ecotoxicologische effecten met name op vissen, amfibieën en bepaalde groepen ongewervelde dieren gesignaleerd. Er blijken grote verschillen te bestaan in aluminiumtolerantie bij verschillende dier- en ook plantensoorten.

Uiteindelijk lijkt ook de mens, zoals reeds is gesuggereerd, niet aan verhoogde blootstelling via voedsel en drinkwater te kunnen ontkomen.

6. Analyse

De analyse van aluminium vindt veelal plaats met behulp van vlamloze atomaire absorptiespectrofotometrie. De gevoeligheid van deze methode kan in de orde van grootte van 1 µg/l (water of plasma/serum) liggen. Bij de analyse stelt met name de preventie van contaminatie door het overal vrij voorkomende aluminium speciale eisen aan de uitvoering van het onderzoek. Blootstelling aan aluminium kan bij mensen relatief eenvoudig worden vastgesteld door de concentratie in plasma of serum vast te stellen. Onder normale omstandigheden dient die concentratie tussen 5 en 10 µg/l te bedragen. Ook concentraties in andere matrices zoals weefsels en vast voedsel zijn gepubliceerd, ook hier echter speelt sterker nog dan bij plasma/serum de analyseproblematiek.

7. Regelgeving

Het signaleren van de dialyse-gerelateerde giftigheid van aluminium heeft binnen de Europese Gemeenschap geleid tot een richtlijn waarin een grensconcentratiewaarde wordt aangegeven voor aluminium in dialyse-media (5 µg/l in de dialyse-vloeistof). Aanbevolen wordt bovendien om controle van de aluminiumconcentratie in dialyse-media en in plasma of serum van nier(dialyse) patiënten in principe om de drie maanden uit te voeren, liefst frequenter. Maatregelen dienen te worden getroffen om te voorkomen dat een niveau van 60 µg aluminium/l in plasma of serum van individuele patiënten wordt overschreden.

Een evaluatie van alle beschikbare toxicologische gegevens in 1988 door het Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives vestigde de aandacht op het feit dat hogere blootstellingen aan aluminium, zoals de werknemers in de aluminiumindustrie en personen die een nierdialyse ondergingen, geen neurofibrillaire degeneratie noch de ziekte van Alzheimer tot gevolg hadden. Het Joint Expert Committee constateerde aan de hand van het beschikbare materiaal dat bij hoge consumptieniveaus slechts een lage hoeveelheid aluminium werd geabsorbeerd. Een evaluatie door dit Committee leidde

tenslotte tot de vaststelling dat een wekelijkse inname van 7,0 mg aluminium per kg lichaamsgewicht acceptabel was.

Voor drinkwater tenslotte wordt een maximale waarde van 0,2 mg/l (Waterleidingwet) acceptabel genoemd.

8. Literatuur

- Van der Voet, G.B. en F.A. de Wolff, „Neurotoxicity of aluminium”, in: Intoxications of the Nervous System, Part I (F.A. de Wolff ed.), *Handbook of Clinical Neurology* (P.J. Vinken and G.W. Bruijn eds.), Elsevier Science B.V., Amsterdam, 1994, hoofdstuk 18, pag. 273-282.
- Winship, K.A., „Toxicity of aluminium: a historical review, Part 1. Adverse Drug React”, *Toxicol. Rev.*, 1992, nummer 11, pag. 123-141.
- Winship, K.A., „Toxicity of aluminium: a historical review, Part 2. Adverse Drug React.”, *Toxicol. Rev.* 1992, nummer 12, pag. 177-211.
- Commission of the European Community, *Resolution 86/C184/04 of the Council concerning the protection of dialysis patients by minimizing the exposure to aluminium*, OJ 1986; No C 184: 23-7-1986.