

# Aluminium, schadelijk voor de gezondheid?

## Inleiding

Aluminium is een van de meest voorkomende elementen in de aardkorst. Het metaal kent vele 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.

## 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/cm<sup>3</sup>. Dit komt overeen met eenderde van de dichtheid van ijzer. Aluminium heeft een smeltpunt van 660,4 °C. Aluminium heeft de eigenschappen zowel van 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 (Al<sup>3+</sup>).

Zuiver aluminiumoxide (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) is onoplosbaar in water. Er bestaan echter in water oplosbare complexen van aluminiumoxide (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·nH<sub>2</sub>O) die zowel protonen (H<sup>+</sup>) als hydroxide-ionen (OH<sup>-</sup>)

## 074-2 Aluminium, schadelijk voor de gezondheid?

kunnen binden. Aluminiumhydroxide heeft een amfoteer karakter, het gedraagt zich als base als het opgelost wordt in zuur en het gedraagt zich als zuur als het opgelost wordt in alkalisch milieu. De oplosbaarheid neemt echter toe met zowel dalende als stijgende pH. Aluminiumsulfaat ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ) en aluminiumchloride ( $\text{AlCl}_3$ ) lossen in water op en vormen hierbij als gevolg van hydrolyse een zure oplossing. Aluminiumfosfaat ( $\text{AlPO}_4$ ) heeft uiterst lage oplosbaarheid in water.

### Voorkomen, productie en toepassing

Aluminium is een veelvoorkomend metaal. Ongeveer 8 gewichtspercenten van de aardkorst bestaan 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 dichtbij 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 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.

*Karakteristieke aluminiumverbindingen*

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

**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. 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 aluminiumbevattend stof.

Bij nierpatiënten die langdurig gedialyseerd worden kunnen neurologische verschijnselen optreden. De zgn. dialyse-encefalopathie wordt gekenmerkt door dementie, spraak- en loopstoornissen, myoclonieën (heftige spiercontracties), insulten (toevallen) en tremoren (trillingen) en blijkt in verband te staan met de accumulatie van aluminium in de grijze hersenstof. Dit aluminium blijkt afkomstig te zijn uit de spoelvoestof die voor de dialyse gebruikt wordt. Boven-

#### 074-4 Aluminium, schadelijk voor de gezondheid?

dien wordt de aluminium-belasting 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 osteomalacie (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. Echter het oraal toegediende aluminiumhydroxide, dat nog steeds in grote hoeveelheden aan nierpatiënten wordt toegediend, wordt tegenwoordig aangewezen als belangrijkste bron van systemische aluminiumbelasting.

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 gedegeneerde 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. Melding dient in dit verband gemaakt te worden van een tweetal studies uit Noorwegen resp. Engeland waarin een relatie wordt gesuggereerd tussen het optreden van de dementie van Alzheimer en aluminium in drinkwater: verhoging van het aluminiumgehalte in het drinkwater zou de kans op het optreden van de dementie van Alzheimer verhogen. Met name in Engeland leek de ziekte van Alzheimer anderhalf maal vaker voor te komen in gebieden waar de gemiddelde drinkwaterconcentratie boven de 0,11 mg/l lag dan in gebieden waar die concentratie lager was dan 0,01 mg/l. Het aluminiumgehalte in het drinkwater zou in Engeland verhoogd zijn tengevolge van het gebruik van aluminiumsulfaat bij de waterzuive-

ring. In Noorwegen zou deze verhoging een gevolg zijn van de verzuring van het milieu waardoor het aluminium vrijkomt in bodem en oppervlaktewater. Hierbij moet worden aangetekend dat de hoeveelheid aluminium, die via het dagelijks voedsel wordt opgenomen veel groter is dan die waaraan men via drinkwater wordt blootgesteld. 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 onder bepaalde omstandigheden bij dierexperimenten door aluminium dementie-achtige beelden en neurofibrillaire degeneraties kunnen worden geïnduceerd. 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. Onderzoek is voorlopig een vereiste.

### **Gevolgen voor milieu**

Tengevolge van de verzuring van het milieu komen oplosbare aluminiumverbindingen vrij in bodem en oppervlaktewater. Recent worden steeds meer ecotoxicologische effecten, met name op vissen, amfibieën en bepaalde groepen ongewervelde dieren gesignaleerd. Er blijken grote verschillen te bestaan in aluminium-tolerantie bij verschillende dier- en ook plantesoorten. Bij veel onderzoek dat op dit gebied verricht is, blijkt het vooralsnog moeilijk om onderscheid te maken tussen het aluminiumeffect en het verzuringseffect (pH-

## **074-6** Aluminium, schadelijk voor de gezondheid?

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

### **Analyse**

De analyse van aluminium vindt veelal plaats met behulp van vlamloze atomaire absorptiespectrofotometrie. De gevoeligheid van deze methode kan in de orde-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.

### **Regelgeving**

Doordat de toxicologische aluminiumproblematiek betrekkelijk recent is, is de regelgeving op dit gebied nog niet op alle fronten aangescherpt. Omdat bovendien de relatie tussen dementie en aluminium-expositie nog verre van volledig is opgehelderd, is een nadere regelgeving voor voedsel en drinkwater op het ogenblik (1990) nog niet aan de orde.

Het signaleren van de dialyse-gerelateerde giftigheid van aluminium heeft binnen de Europese Gemeenschap geleid tot een richtlijn waarin een grensconcentratie 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 150 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 consumptieniveau's 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.

### Literatuur

- Alzheimer's Disease. DHHS Task Force Report, U.S. Department of Health and Human Services, U.S. Government Printing Office, Washington D.C., september 1984.
- C. G. Elinder and B. Sjögren, Aluminium. In: Handbook on the Toxicology of Metals (II), L. Friberg, G.F. Nordberg and V.B. Vouk (eds.), Elsevier, Amsterdam (1986), 1-25.
- F. S. E. Monteguado, M. J. D. Cassidy and P. I. Folb, Recent developments in aluminium toxicology. *Medical Toxicology* 4 (1989) 1-16.
- F. A. De Wolff and G. B. Van der Voet, Biological monitoring of aluminium in renal patients. *Clinica Chimica Acta* 160 (1986) 183-188.
- G. B. Van der Voet, E. J. M. De Haas and F. A. De Wolff, Monitoring of aluminium in whole blood, plasma, serum and water by a single procedure using flameless atomic absorption spectrometry. *Journal of Analytical Toxicology* 9 (1985) 97-100.

**074-8** Aluminium, schadelijk voor de gezondheid?

- G. Vos, Aluminium, een nieuw probleem voor landbouw en volksgezondheid?: Een literatuuronderzoek. Wageningen: RIKILT, (1985) 66 p.

oktober 1990  
Dr. G. B. van der Voet