



VLAAMSE MILIEUMAATSCHAPPIJ



Milieurapport Vlaanderen

MIRA

Themabeschrijving
Verspreiding van zware metalen

Milieurapport Vlaanderen

MIRA **Themabeschrijving *Verspreiding van*** ***zware metalen***



Coördinerend auteur

Bob Peeters, MIRA, VMM

Laatst bijgewerkt: januari 2013

Woord vooraf

De doelstellingen van MIRA (Milieurapport Vlaanderen) zijn driedelig: (1) de wetenschappelijke basis verschaffen voor het Vlaamse milieubeleid, (2) het maatschappelijk draagvlak versterken door het verhogen van het milieu-inzicht en (3) de Vlaamse kennisbasis afstemmen op internationale standaarden. Het document Themabeschrijving wil bijdragen aan deze doelstellingen door het ter beschikking stellen van een kernachtige en toegankelijke beschrijving van de milieuthema's die door MIRA behandeld worden. Deze informatie moet de gebruiker de nodige achtergrondinformatie verschaffen bij de raadpleging van de milieu-indicatoren.

De beschrijving is gestructureerd volgens de zogenaamde milieuverstoringsketen of DPSI-R keten die de oorzaak en de gevolgen van de milieuverstoringen in beeld brengt. DPSI-R staat voor Driving Forces (maatschappelijke activiteiten), Pressure (druk), State (toestand), Impact (gevolgen) en Respons (beleidsrespons). Het document bevat zoveel mogelijk de laatste stand van zaken van de wetenschappelijke kennis.

Bronvermelding bij overname informatie

Overname van informatie uit dit document wordt aangemoedigd mits bronvermelding.

Hoe citeren?

Kort: MIRA Themabeschrijving *Verspreiding van zware metalen* (www.milieurapport.be)

Volledig: MIRA (2013) Milieurapport Vlaanderen, Themabeschrijving *Verspreiding van zware metalen*. Peeters B., Vlaamse Milieumaatschappij, www.milieurapport.be

Inhoud

Definitie	5
Beschrijving van het thema	5
Bronnen van zware metalen	5
Verspreiding van zware metalen in het milieu	6
Blootstelling en toxiciteit	6
Mechanismen van toxiciteit.....	6
Overzicht van de belangrijkste eigenschappen, toepassingen en effecten van zware metalen	7
Arseen.....	7
Cadmium.....	8
Chroom	9
Koper	9
Kwik	11
Lood	12
Nikkel	13
Zink	14
Referenties	16
Begrippen	16
Afkortingen	18
Scheikundige symbolen	18

Definitie

Zware metalen komen van nature voor in het milieu onder verschillende vormen: als ionen of gebonden aan stof, opgelost in water, als damp in de atmosfeer of als mineralen in gesteenten, bodems. Daarnaast worden ze teruggevonden in het ecosysteem inclusief de mens. Verschillende definities worden gehanteerd om zware metalen te omschrijven. Meestal verwijzen ze naar het atoomgewicht, de dichtheid of beide. EEA (1999) definieert zware metalen als metalen en metalloïden die stabiel zijn en een dichtheid hebben groter dan $4,5 \text{ g/cm}^3$. Een algemene benaming zou eigenlijk sporelementen moeten zijn, maar in de praktijk worden alle metalen waarvan werd vastgesteld dat de blootstelling potentieel schadelijk is voor de mens gerekend tot de groep van zware metalen (tabel 1). Sommige toxiciteitstudies rekenen dan ook elementen zoals ijzer of aluminium tot zware metalen. Dit komt omdat heel wat elementen in te hoge concentraties toxische bijwerkingen vertonen, ook al zijn ze in lagere concentraties essentieel voor het (menselijk) metabolisme. De term toxische metalen zou dus in deze context een betere omschrijving zijn. Het gevaar van sommige van deze elementen schuilt vooral in het feit dat ze kunnen bioaccumuleren. Dat betekent dat hun concentratie in het organisme geleidelijk aan toeneemt ten opzichte van de concentratie in het milieu, zelfs bij een voortdurende blootstelling aan zeer lage concentraties in de lucht, in het drinkwater of de voeding. Dit geldt in sterke mate voor kwik, lood en cadmium, metalen waarvan wordt aangenomen dat ze geen nuttige functie vervullen voor organismen.

Tabel 1: Zware metalen met beknopte omschrijving van hun mogelijke schadelijke werking voor de mens

naam	symbool	omschrijving van mogelijke schadelijke effecten
arseen	As	long- en huidtumoren bij chronische vergiftiging; dikwijls fataal bij acute inname
cadmium	Cd	acute longaantasting bij inademing, schade aan nieren en skelet, fataal bij chronische ingestie, verminderde fertiliteit
chroom	Cr	kankerverwekkend bij inademing van Cr-VI
koper	Cu	acute long-leverschade bij inademing
kwik	Hg	aantasting longen en zenuwstelsel bij inademing van elementair kwik, schade aan nieren en hersenen bij ingestie van vooral organische kwikverbindingen
lood	Pb	schade aan maag en ingewanden, bloedarmoede, aantasting zenuwstelsel, groei- en leerstoornissen, verminderde fertiliteit
nikkel	Ni	allergie en irritaties bij huidcontact, kanker bij ingestie, astma bij inademing van carbonyl-nikkel
platina	Pt	irritatie van de huid, contact-dermatitis bij chronische blootstelling, irritatie van de ademhaling bij inademing van stof
zink	Zn	koorts bij acute inademing van metaaldamp

Beschrijving van het thema

Bronnen van zware metalen

Onder menselijke invloed werd de natuurlijke geo- en biochemische cyclus van metalen gewijzigd wat vooral plaatselijk maar ook regionaal - via dispersie over lange afstanden - kan leiden tot verhoogde blootstelling. De meeste metalen komen van nature voor in lage concentraties in de aardkorst. Ze waaien op tot in de atmosfeer, ontsnappen bij vulkaanuitbarstingen of eroderen en komen terecht in rivieren en de oceanen waar ze door sommige micro-organismen worden omgevormd. De antropogene verstoring van deze cyclus bestaat vooral in het mobiliseren van zware metalen via ontginning in mijnen. Zware metalen komen vervolgens vrij in het milieu tijdens het productieproces, tijdens het gebruik en bij de verwijdering van producten via afval. Belangrijke bronnen tijdens het productieproces zijn emissies ten gevolge van mijnbouwactiviteiten, ongewilde lozingen door metaalverwerkende industrieën zoals smelterijen en het verbranden van fossiele brandstoffen. Belangrijke bronnen van zware metalen tijdens de gebruiksfase van producten zijn het aanwenden van

meststoffen en het eroderen of corroderen van materialen. De voornaamste emissiebron blijft wellicht verwijdering via afval. Bij afvalverbranding of na het storten kunnen zware metalen die vervat zitten in het afval terecht komen in het milieu. Onder meer bouwafval is een belangrijke bron van zware metalen. De belangrijkste bronnen van zware metalen naar de lucht in Vlaanderen zijn industrie (alle metalen behalve koper), energie (kwik, nikkel) en transport (koper, zink). De belangrijkste bronnen van zware metalen naar oppervlaktewater zijn bodemerrosie, corrosie (lood en zink), industrie en transport (koper).

Verspreiding van zware metalen in het milieu

Zware metalen van antropogene oorsprong komen voornamelijk op de bodem terecht door atmosferische depositie, door het storten van vast afval of gebruik van meststoffen. Ze kunnen opgenomen worden door planten en dieren. Via doorsijpeling kunnen ze het grondwater bereiken, via afspoeling kunnen ze het oppervlaktewater verontreinigen. Zware metalen in het oppervlaktewater zetten zich snel neer op het bodemmateriaal. Vanuit het sediment kan een langdurige nalevering optreden van metalen naar het oppervlaktewater ten gevolge van mobilisatie van metaalhoudende slibdeeltjes. Een studie aan de hand van stalen van 200 Vlaamse waterbodems wijst uit dat in vele gevallen in Vlaanderen de biobeschikbaarheid van metalen in riviersedimenten beperkt is, omwille van de aanwezigheid van sulfiden die de metalen binden. Er ontstaat een belangrijk probleem wanneer dit slib geruimd wordt en uitgespreid op de oever. Door de blootstelling aan de lucht worden de sulfiden namelijk omgezet tot sulfaten en worden de metalen gereduceerd (Vangheluwe et al., 2005).

Grote of zware deeltjes met een doorsnede van meerdere μm vallen snel op de bodem in de nabijheid van de bronnen. Kleine deeltjes met een doorsnede van $1 \mu\text{m}$ of minder worden uitgestoten door hoge-temperatuur- en verbrandingsprocessen. Ze kunnen zich verspreiden als aërosolen en veroorzaken effecten op grote afstanden van de bron (bv. tot op Antarctica).

Blootstelling en toxiciteit

Blootstelling aan een bepaalde stof verwijst naar de hoeveelheid van deze stof die het milieu of een organisme bereikt (Baldwin & Marshall, 1999; WHO, 2000). Mensen zijn blootgesteld aan zware metalen via het milieu, via de voeding of de inname van medicatie of bepaalde therapieën, of via accidentele weg door bijvoorbeeld het inslikken van een kleine batterij door kinderen. De biologische effecten volgend op de blootstelling zijn in vele gevallen zeer moeilijk te bepalen. Individuen vertonen immers een ongelijke respons bij gelijke blootstelling. Via monitoringsprogramma's wordt de blootstelling in het milieu en in het lichaam gemeten. De totale concentratie van een bepaalde stof in het lichaam wordt aangeduid als de "body burden".

Mechanismen van toxiciteit

Verschillende lichte metalen hebben nuttige celfuncties (Baldwin & Marshall, 1999). Ze coördineren de vorming van complexen tussen verschillende moleculen door te binden aan zuurstof- of stikstofatomen. Zuurstof en stikstof maar ook bijvoorbeeld zwavel maken dikwijls deel uit van liganden: neutrale moleculen of ionen die een vrij elektronenpaar bezitten. Vrije elektronen kunnen gebruikt worden om een binding te vormen met een metaalion. Koper en zink zijn in deze context erg nuttige elementen. Andere lichte metalen zoals aluminium kunnen bij verhoogde concentratie in competitie treden met nuttige metalen en vervolgens de nuttige werking van bepaalde moleculen deactiveren. Sommige metalen die in de tabel van Mendeljev onder of boven essentiële elementen staan, hebben sterk gelijkende structurele eigenschappen en kunnen hierdoor verstorend optreden. Zwaardere metalen zijn in de celcyclus van ondergeschikt belang. Dergelijke atomen zijn fysisch groter, raken hierdoor vlugger gepolariseerd en vormen stabiele complexen met sulfidryl liganden. Wanneer dit gebeurt, verliezen de betrokken moleculen (enzymes, proteïnen) hun werking. Bij acute metaalvergiftiging is de toegediende concentratie dermate hoog wat leidt tot breuken in het celmembraan of functiestoringen in de mitochondrieën via het vrijkomen van radicalen. Bepaalde metalen zijn ook toxisch zonder tussen te komen in ligand gebaseerde bindingen en reageren meer specifiek met bepaalde celmoleculen.

Het lichaam beschikt over verschillende defensiemechanismen om de schadelijkheid van zware metalen, eens ze in het lichaam terecht komen, uit te schakelen. Een belangrijke rol in de afzondering van metalen is weggelegd voor metallothioneïnes (Baldwin & Marshall, 1999). Metallothioneïnes zijn belangrijke eiwitten om metalen af te zonderen. Metallothioneïnes zijn relatief lichte proteïnen die minstens 18 verschillende metalen kunnen binden. Hieraan ontleen ze hun detoxificerende werking. Metallothioneïnes komen vooral voor in de lever, de nieren, het spijsverteringsstelsel en de pancreas. Wellicht hebben ze een essentiële rol in het metabolisme van zink en koper. Medicinale toediening van zink leidt tot de mobilisatie van metallothioneïnes in het lichaam wat van zink een middel maakt om bijvoorbeeld een cadmium vergiftiging te bestrijden.

Overzicht van de belangrijkste eigenschappen, toepassingen en effecten van zware metalen

Arseen

Chemische eigenschappen. Arseen (As, atoomgetal 33, atoommassa 74,9) is een metalloïde en bezit zowel metaal- als niet-metaaleigenschappen. Het komt onder natuurlijke omstandigheden voor onder zowel organische als anorganische vorm. Arseen in de elementaire metaalvorm is eerder zeldzaam. Arseen komt vooral voor als een (-3) arsine, (+3) arseniet en (+5) arsenaat. Tevens bindt de stof covalent met de meeste niet-metalen en metalen. Het vormt stabiele organische verbindingen onder zowel 3- als 5-waardige vorm. De belangrijkste commerciële vorm is arseentrioxide waarvan de chemische formule als As_2O_3 of As_4O_6 wordt geschreven. Veel voorkomende organische componenten zijn arseenanhydride, methylarseenzuur, dimethylarseenzuur en arsenobetaine. Arseen kan geproduceerd worden door arseenhoudend sulfide of ertsen te verwarmen (oxideren) tot As_2O_3 en nadien neer te slaan of te reduceren. De wereldproductie van As_2O_3 in 2011 bedroeg 45 800 ton, waarvan China het belangrijkste deel inneemt (25 000 ton, www.indexmundi.com).

Toepassingen. Arseenverbindingen worden in de eerste plaats gebruikt in de houtverwerkende nijverheid als biocide voor de bescherming van hout (Ignatow et al., 1991). Andere toepassingen zijn het gebruik in medicijnen, de productie van bepaalde types glas, als groen kleurpigment of als metaal in legeringen.

Arseen in het milieu. Arseen is het 20^e meest voorkomende element in de aardkorst. Via erosie komt het beschikbaar en kan het opwaaien of komt het terecht in oppervlaktewater. Andere natuurlijke bronnen van arseen zijn de uitstoot door vulkanen en de productie van methylarsines door micro-organismen. De globale natuurlijke emissie van arseen bedraagt 12 000 ton per jaar. Significante antropogene bronnen zijn gerelateerd aan metaalverwerking in smeltovens en steenkoolverbranding. De menselijke emissie wordt geraamd op 19 000 ton per jaar (WHO, 2000).

Water vormt de voornaamste vector voor het transport van arseen doorheen het milieu. In goed belucht water komt arseen voor als arsenaat (AsO_4^{3-}) terwijl onder gereduceerde omstandigheden (zoals in putwater) als arseniet ($H_2AsO_3^-$) voorkomt. De anorganische vormen worden door biologische activiteit omgevormd tot organische verbindingen. Arseen is relatief mobiel in het milieu, zodat eventuele verontreinigingen snel uitdijen.

Planten absorberen gemakkelijk arseen, zodat arseenconcentraties hoger op in de voedselketen accumuleren. Vooral aquatische organismen worden getroffen door het accumulerende effect. In tegenstelling tot elementair arseen lossen arsenaat en arseniet goed op in water, en eens opgenomen in het lichaam, worden deze anorganische vormen snel geabsorbeerd door het spijsverteringsstelsel. Vissen en visetende vogels kunnen bijgevolg sterven aan arseenvergiftiging.

Arseen en menselijke gezondheid. Arseen is zeer toxisch. Menselijke blootstelling verloopt vooral via de voeding. Andere bronnen zijn drinkwater en ingeademde lucht. De concentratie van arseen in voedingsmiddelen is echter laag. Organisch arseen, dat minder schadelijk is

dan anorganisch arseen, wordt vooral aangetroffen in visproducten en in mindere mate in vlees en gevogelte. De dagelijkse inname via de voeding wordt door WHO geschat op 40 µg per dag. Drinkwater kan een significante blootstellingsroute vormen in regio's waar waterbronnen besmet zijn met hoge arseengehalten, wat neerkomt op een concentratie hoger dan 10 ppb (Wereldgezondheidsorganisatie). Bepaalde bevolkingsgroepen zijn meer dan gemiddeld blootgesteld aan arseen. Het betreft onder meer arbeiders die beroepshalve met arseen in contact komen (Apostoli et al., 1997). Mensen die grote hoeveelheden wijn drinken of wonen in woningen gebouwd met behandeld hout zijn extra blootgesteld.

Anorganisch arseen vormt liganden die combineren met bepaalde proteïnen en zodoende hun functie opheffen. Blootstelling aan anorganisch arseen wordt gerelateerd aan verschillende gezondheidseffecten zoals irritatie aan maag en darmen, huid en longen alsook een afgenomen productie van bloedcellen. Langdurige blootstelling aan hoge concentraties veroorzaakt mogelijk kankers. Extreme blootstelling aan anorganisch arseen kan leiden tot huidirritaties, verminderde weerstand, hartstoornissen, schade aan de hersenen, onvruchtbaarheid en miskramen. Anorganisch arseen kan tevens het DNA beschadigen. Een dosis van 100 mg of meer is dodelijk.

De effecten van organisch arseen op de menselijke gezondheid zijn veel minder ernstig dan voor de anorganisch arseen. Hoge doses kunnen aanleiding geven tot zenuwirritaties en buikpijn.

Cadmium

Chemische eigenschappen. Cadmium (Cd, atoomgetal 48, atoommassa 112,4) komt van nature voor in de aarde. Zuiver cadmium is een zacht, zilverwit metaal. In het milieu komt cadmium, onder de oxidatietrap II+, quasi uitsluitend voor in combinatie met een zuurstof-, chloor- of zwavelatoom. Cadmium wordt gewonnen tijdens de productie van non-ferro metalen, vooral van zink. De wereld(refinery)productie in 2011 bedroeg 22 200 ton per (www.indexmundi.com). China is de grootste producent (7 000 ton).

Toepassingen. Meer dan 75 % van het geproduceerde cadmium wordt aangewend bij de productie van nikkel-cadmium batterijen onder de vorm van cadmiumhydroxide. Verder wordt cadmium gebruikt als geel tot rood pigment bij het kleuren van producten, gaande van plastics tot inkt. Andere toepassingen van cadmium zijn het gebruik als PVC stabilisator en in metaalcoatings ter preventie van corrosie. Cadmium wordt gemengd onder diverse legeringen voor elektrische geleiders (Wilson, 1988).

Cadmium in het milieu. Wereldwijd komt per jaar ongeveer 25 000 ton cadmium in het milieu terecht waarvan de helft via natuurlijke processen zoals erosie, bosbranden en vulkaanuitbarstingen. Cadmium komt ongewild vrij bij de productie van ijzer en staal en van non-ferro metalen (zink, lood en koper), bij de verbranding van fossiele brandstoffen en huishoudelijk afval en bij de toepassing van cement en meststoffen gebaseerd op fosfaat (WHO, 2000). Bijna al het uitgestoten cadmium komt uiteindelijk in de bodem terecht waar het bindt aan de organische fractie. Vanuit de bodem kan cadmium de voedselketen besmetten via opname door het wortelsysteem van planten.

Cadmium en menselijke gezondheid. Menselijke inname van cadmium gebeurt vooral via de voeding. De meeste gewassen nemen cadmium op uit de bodem dat er terecht komt via het gebruik van meststoffen en atmosferische depositie. Rokers zijn extra blootgesteld aan cadmium, alsook mensen die wonen in de nabijheid van zinksmelterijen. Inname van cadmium via de lucht is veel efficiënter dan inname via de voeding. Gemiddeld 5 % van het cadmium dat via orale inname van voeding in het lichaam komt wordt geabsorbeerd terwijl tot 50 % van het geïnhalede cadmium kan worden opgenomen in het bloed. In de lever stimuleert cadmium wegens zijn structurele gelijkheid aan zink de synthese van metallothioneïnes. Het cadmium-metallothioneïne-complex wordt vervolgens naar de nieren getransporteerd waar cadmium accumuleert. Bepaalde enzymen breken dit complex af zodat cadmium verdwijnt via de urine. Dit proces verloopt traag zodat de halfwaardetijd van cadmium in de nieren tussen de 15 en 30 jaar bedraagt. Vooral de longen en de nieren lopen

schade op aan langdurige blootstelling aan een te hoge concentratie. Nawrot et al. (2006) stelden een statistisch significant verband vast tussen verhoogde blootstelling en kanker.

Chroom

Chemische eigenschappen. Chroom (Cr, atoomgetal 24, atoommassa 52) is glanzend, zilvergrijs metaal. Het geeft een glanzende schijn aan bv. de accessoires van motorfietsen en auto's. De meest gebruikelijke oxidatietrappen zijn 0, , II+, III+ en VI+. Cr³⁺ zoals in chroomoxide Cr₂O₃ is de meest stabiele vorm. Chroom wordt ontgonnen als chromiet erts (FeO Cr₂O₃), in 2010 bedroeg de wereldproductie chromiet ongeveer 23,7 miljoen ton (www.indexmundi.com). Zuid-Afrika is de grootste producent (bijna 11 miljoen ton).

Toepassingen. Chroom is het hoofdmetaal in legeringen van verschillende types roestvrij en hiteresistent staal. Percentages tot 6 % chroom verhogen de hardheid van het staal en meer dan 10 % chroom zorgt ervoor dat het staal resistent wordt tegen zuren en oxidatie op hoge temperaturen (Slooff et al., 1990). Andere toepassingen binnen de industrie zijn pigmentatie van verven, leerlooierij, fungicide, houtbeschermingsmiddel. Chroom wordt gebruikt in ontsmettingsmiddelen en bloedstelpende middelen en in brouwerijen om bacteriën- en gistgroei in proceswaters tegen te gaan.

Chroom in het milieu. De concentratie chroom in de aardkorst bedraagt gemiddeld 100 mg/kg. Het komt van nature voor in vele gesteenten, bodems, sedimenten, water en de atmosfeer (omwille van opwaaiend stof en vulkanenuitbarstingen). Kleinere bronnen zijn zeezout en, omdat planten chroom onttrekken uit de bodem, bosbranden. Chroom komt ook voor in steenkool.

Chroom komt voornamelijk in het milieu door de verwerking van gesteenten en bodems (WHO, 2000). Circa 15 % van de totale input van chroom in het milieu (naar biota, water, lucht en terug naar de bodem) zou hiervan afkomstig zijn. De belangrijke menselijke emissie van chroom gebeurt ter hoogte van metaalverwerkende industrieën. Mijnen en steenkoolverbranding zijn andere bronnen.

Het merendeel van de emissies komt uiteindelijk terecht in water en bodem. In bodems hecht chroom aan partikels zodat er weinig uitloging optreedt via het grondwater. In oppervlaktewater hecht chroom zich vooral aan sediment.

Cr³⁺ is een essentieel element voor organismen. Het suikermetabolisme functioneert slechter zonder Cr³⁺. Cr⁶⁺ is toxisch voor vele organismen en leidt tot genetische afwijkingen en kankers. Planten zijn uitgerust met een mechanisme om enkel Cr³⁺ op te nemen maar verzuring van de bodem kan de goede werking verstoren zodat toxische varianten toch de voedselketen binnen komen. chroom accumuleert niet in aquatische organismen. Hoge concentraties nabij lozingspunten kunnen leiden tot de beschadiging van kieuwen in vis en tot onder andere ademhalingsproblemen.

Chroom en de menselijke gezondheid. Mensen zijn blootgesteld aan chroom via de gebruikelijke routes. De concentraties aan chroom in water en lucht zijn meestal voldoende laag. De opname van essentieel Cr³⁺ gebeurt via de voeding. Cr³⁺ komt voor in groenten, fruit en granen. Concentraties in voedsel dat wordt bewaard in metalen verpakkingen kunnen oplopen. Cr³⁺ speelt een rol in het metabolisme van suikers, vetten en eiwitten en zou de interactie tussen insuline en de cellulaire receptor ervan vergemakkelijken (WHO, 1996). Tekorten leiden tot stoornissen in het suikermetabolisme. Hexavalent chroom daarentegen is schadelijk voor de gezondheid. Metaal- en textielarbeiders alsook rokers zijn extra blootgesteld. Cr⁶⁺ in leder veroorzaakt huidirritatie. Inademen van Cr⁶⁺ leidt tot bloedneus, irritaties aan de luchtwegen en ademhalingsproblemen. Cr⁶⁺ is kankerverwekkend. Het metaal zelf is relatief onschadelijk.

Koper

Chemische eigenschappen. Koper (Cu, atoomgetal 29, atoommassa 63,5) is een roodachtig, zacht metaal met uitstekende geleidende eigenschappen voor elektriciteit. Het

komt voor als metallisch koper Cu^0 , koperion Cu^{1+} , bivalent koper Cu^{2+} en trivalent koper Cu^{3+} . Koper vormt eveneens organometallische verbindingen. De metallische vorm is zeer stabiel onder droge lucht bij lage temperaturen maar ondergaat trage reactie in vochtige lucht met vorming van hydroxycarbonaten of hydroxysulfaten welke aanleiding geven tot een groen-grijze amorfe film over geheel het oppervlak, die het onderliggend metaal beschermt tegen verdere chemische reactie. Door de gemakkelijke uitwisseling tussen verschillende oxidatietoestanden heeft koper belangrijke redoxeigenschappen welke essentieel maar ook nadelig kunnen zijn in biologische systemen.

De belangrijkste oxidatietoestand in natuurlijk, waterig milieu is Cu(II) . Cu(I) wordt in waterig milieu snel geoxideerd door gelijk welk aanwezig oxiderend reagens, behalve indien het gestabiliseerd wordt door complexvorming. Cu(II) -ionen binden bij voorkeur via zuurstof aan anorganische liganden zoals H_2O , OH^- , CO_3^{2-} , SO_4^{2-} ... en aan organische liganden via fenolische en carbonzurgroepen. In stalen uit de natuur is bijna al het koper gecomplexeerd met organische verbindingen.

Vele koperverbindingen en -complexen zijn oplosbaar in water en hebben een karakteristieke blauw-groene kleur. De trivalente vorm van koper wordt slechts gevonden in enkele verbindingen en heeft sterk oxiderende eigenschappen. In het milieu en in mineralogische middelen adsorbeert de divalente oxidatietoestand aan een reeks van gehydrateerde metaaloxiden zoals deze van ijzer, aluminium en mangaan.

Wereldwijd werd er in 2010 zo'n 16 miljoen ton koper geproduceerd (mijnproductie), vooral in landen zoals Chili, China, Peru en de VS (www.indexmundi.com). Het gros van het koper wordt bekomen door het smelten van kopersulfide-erts en dit uit te zuiveren door elektrolyse.

Toepassingen. Koper is één van de belangrijkste metalen en heeft verscheidene commerciële toepassingen omwille van zijn duurzaamheid, buigzaamheid en elektrische en thermische geleiding. De belangrijkste toepassing van koper wereldwijd zijn elektrische bedrading en kabels, maar ook andere elektronische toepassingen hebben een belangrijk aandeel. Koper wordt ook veel gebruikt in de bouwsector zoals in gas en waterleidingen, dakwerk en goten (WHO, 1998). Andere toepassingen worden gevonden in transportuitrustingen, airconditioning en diepvriezen, maar ook in het fabriceren van machineonderdelen, munten, militaire en consumentengoederen. Naast het gebruik van koper als metaal wordt een klein percentage ook aangewend voor het aanmaken van afgeleide stoffen. Het derivaat kopersulfaat (CuSO_4) wordt zowel in de industrie als in de landbouw gebruikt. In de industrie kent het toepassingen bij de productie van chroom-koperarsenaat (houtbeschermingsmiddel), bij galvanisatie en bij petroleumraffinage. In de landbouw wordt kopersulfaat gebruikt als fungicide, pesticide, algicide, voedingssupplement en meststof.

Koper in het milieu. Koper (Cu) is een veel voorkomend metaal. Concentraties in de aardkorst en in de zee bedragen respectievelijk 60 mg/kg en 0,25 $\mu\text{g/l}$. Het komt van nature voor in zuivere vorm of in mineralen. De natuurlijke emissies van koper zijn afkomstig van opwaaiend stof, bosbranden, vulkanische deeltjes, biogene processen en strooi(zee)zout voor de wegen. De gemiddelde wereld emissie van natuurlijk bronnen werd geschat op 1 500 kton per jaar. De grootste bron is het opwaaiend stof uit droge gebieden (WHO, 2000).

De belangrijkste bijdragen naar de atmosfeer zijn afkomstig van activiteiten gerelateerd aan kopersmelterijen, ertsverwerking en verbranding. De grootste emissies van koper gaan echter naar het land, via mijnbouwactiviteiten, landbouw, afval en zuiveringsslib van afvalwater. Emissies naar het water zijn meestal het resultaat van de verwerking van de bodem, lozingen van de industrie en afvalwaterzuiveringstations en van antifouling verf.

Als koper in de bodem komt, hecht het zich sterk aan organisch materiaal en mineralen. Het transport van koper doorheen de bodem verloopt hierdoor zeer traag. In oppervlaktewater hecht koper zich aan gesuspendeerd materiaal of gedraagt het zich als een vrij ion zodat koper in oppervlaktewater over aanzienlijke afstanden kan migreren.

energiecentrales op fossiele brandstoffen, kleinschalige goudwinning, non-ferro- en cementproductie (Pirrone et al., 2010).

De voornaamste antropogene bronnen van kwik behelzen zowel diffuse bronnen als puntbronnen. Diffuse bronnen zijn onder andere emissies ten gevolge van het gebruik van brandstoffen, aanmaak of verwerking van tandvullingmateriaal, stortplaatsen, slibverwerkingsinstallaties. Puntbronnen zijn onder andere verbrandingsprocessen, industriële activiteiten, zoals lampenverwerkingsfabrieken, laboratoria, en een breed scala aan kleinschaligere puntbronnen. De voornaamste bronnen via verbranding zijn het verbranden van kolen en olie voor het opwekken van elektriciteit, daarnaast is er ook nog het gebruik van steenkool en olie in residentiële, commerciële en industriële verbranding. De non-ferro metaalsmelterijen leveren een voorname bijdrage aan de kwikuitstoot via verbranding. Organokwikverbindingen gebruikt in de landbouw of bij houtconservering zijn in principe belangrijke bronnen voor de ophoping van organisch kwik in de terrestrische voedselketens.

Van zodra kwik vanuit de afvalstroom of door atmosferische deposities terecht komt in water en bodem wordt het door micro-organismen omgezet tot methykwik. Lichtzuur water bevordert de mobilisatie van kwik vanuit de bodem of sedimenten. Methykwik wordt snel opgenomen door de meeste organismen en veroorzaakt schade aan de nieren. Vooral vissen stapelen grote hoeveelheden methykwik op. Andere effecten op organismen zijn schade aan maag en darm, voortplantingsmoeilijkheden en schade aan het DNA.

Kwik en de menselijke gezondheid. Kwik heeft geen gekende biologische functies bij mensen of dieren. Elementair kwik wordt, indien het vrijkomt, als damp ingeademd door de mens terwijl organokwikverbindingen via de voeding (vooral vis) of, in geval van fenykwik, via de huid worden ingenomen. In het lichaam wordt kwik geoxideerd en in deze toestand is het zeer reactief. Kwikvergiftiging begint met een verminderd gevoel in de vingers en de tenen, de lippen en de tong. Vervolgens treden coördinatiestoornissen en bevingen op, samen met een beperking van het gezichtsveld en het gehoor. Levenslange geestelijke en lichamelijke invaliditeit alsook aantasting van lever, nieren en andere behoren tot de risico's. Anorganisch kwik accumuleert in de nieren terwijl methykwik accumuleert in het centrale zenuwstelsel.

Lood

Chemische eigenschappen. Lood (Pb atoomgetal 82, atoommassa 207,2) is een blauwgrijsachtig zacht metaal dat snel verkleurt. Alhoewel het element 4 elektronen in de valentieschil bezit ioniseren er slechts 2 met gemak. Daarom is de oxidatietrap van loodcomponenten eerder (II) dan (IV). Het divalent ion kan interfereren met de werking van andere divalente kationen zoals Ca^{2+} (ATSDR, 1999). Lood is een slechte geleider van elektriciteit maar een goede isolator van geluid, trillingen en straling.

Lood wordt geproduceerd uit ertsen en gerecycleerde loodproducten. Galena (PbS) is de belangrijkste primaire bron van lood. De wereld(mijn)productie bedroeg in 2010 4,1 miljoen ton. China is de grootste producent (www.indexmundi.com).

Toepassingen. Het commercieel gebruik van lood is gestoeld op de volgende eigenschappen: gemakkelijk vorm te geven, hoge dichtheid, laag smeltpunt, lage sterkte, gemakkelijk te produceren, zuurresistentie, elektrochemische reactie met zwavelzuur en de chemische stabiliteit in lucht, water en bodem. Het meeste lood wordt aangewend in de productie van loodaccumulators die gebruikt worden in de automobiellindustrie. Andere belangrijke toepassingen zijn stralingsschilden in nucleaire centrales en röntgenmachines, dakbedekkingen en het isoleren van hoogspanningskabels. Zijn corrosieresistentie maakt het materiaal geschikt voor buizen en andere benodigdheden in chemische processen. De dichtheid maakt lood geschikt voor het maken van munitie en gewichten. Samen met tin vormt het een soldeermetaal.

Loodderivaten, zoals loodoxide worden geïncorporeerd in glas om het ontsnappen van straling te belemmeren in kathodebuizen (televisie en computerschermen). Vroeger werd lood gebruikt als pigment in verven en als anti-klop middel in benzine.

Lood in het milieu. Lood is een zeldzaam element in de aardkorst (concentratie van 0,002 %). Onder de natuurlijke bronnen van lood vallen silicaatstof, vulkanische halogeenaërosolen, bosbranden, zeezoutaërosolen, meteorieten en lood afkomstig van het radio-actief verval van radon. Het aandeel van natuurlijke bronnen aan loodconcentraties in het milieu is echter verwaarloosbaar ten opzichte van antropogene bronnen (WHO, 2000).

Loodemissies zijn in belangrijke hoeveelheden afkomstig van bepaalde industriële processen. Hierbij moet een onderscheid gemaakt worden tussen emissies afkomstig van schouwen (deze kunnen beheerst worden) en emissies afkomstig van diffuse bronnen, zoals in uitlaatgassen. Loodpartikels vallen snellen op de grond en verontreinigen water en bodem. Kleinere partikels kunnen over lange afstanden getransporteerd worden of in de atmosfeer blijven en vervolgens uitregenen. Na depositie accumuleert lood snel in het lichaam van aquatische biota en bodemorganismen. Voor deze biota treedt zelfs bij lage concentraties vergiftiging op. Lood verhindert de goede lichaamswerking bij fytoplankton en bodemorganismen die aan de basis van de voedselketen staan. Een gekend probleem is de ingestie van loden kogeltjes door vogels en roofdieren via geschoten wild.

Lood en de menselijke gezondheid. Onder historici wordt aangenomen dat lood de val van het Romeinse rijk inluide of veroorzaakte omdat de Romeinse elite gek zou geworden zijn door blootstelling aan drinkwater dat door loden pijpen stroomde. Mensen zijn blootgesteld aan lood via de voeding (65 %), water (20 %) en lucht (15 %). Fruit, groenten, vlees, granen, zeevruchten, frisdranken en wijn kunnen allen significante bronnen zijn. Ook rook van sigaretten bevat lood.

Lood vervult geen essentiële rol in het metabolisme en veroorzaakt ongewenste neveneffecten na inname zoals: verhoogde bloeddruk, nierschade, miskraam, verstoorde zenuwfuncties, verlaagde fertiliteit, leer- en gedragsproblemen bij kinderen en ernstige afwijkingen aan het zenuwstelsel van ongeboren kinderen (DG Health and Consumer Protection, 2004).

Nikkel

Chemische eigenschappen. Nikkel (Ni, atoomgetal 28, atoommassa 58,7) is een zilverwit gekleurd metaal. Nikkel is relatief beter bestand tegen oxidatie dan ijzer. Verschillende honderden nikkelverbindingen werden gekarakteriseerd. Nikkel komt gewoonlijk in de divalente oxidatietoestand voor maar vormt eveneens relatief stabiele tri- en tetravalente ionen. Verschillende binaire nikkelverbindingen zijn commercieel beschikbaar en daardoor significant voor eventuele milieuverontreiniging.

Nikkel wordt gewonnen uit nikkelhoudende ertsen via verschillende procedés. Wereldwijd wordt meer dan 1,6 miljoen ton ontgonnen in 2010. Rusland is de grootste producent (www.indexmundi.com).

Toepassingen. Nikkel wordt vooral gebruikt in legeringen omwille van corrosieresistentie, warmteresistentie, hardheid en sterkte. koper-nikkel-legeringen (Monel-metaal) worden gebruikt in industriële loodgieterijen, zeebenodigheden, petrochemische installaties, warmtewisselaars en vele andere producten. Nikkel-chroom-legeringen worden gebruikt voor warmte-elementen. Nikkel-Fe-chroom-legeringen zorgen voor sterkte en corrosieresistentie over een groot temperatuursbereik. Grote hoeveelheden nikkel worden gebonden met ijzer voor het maken van staallegeringen, roestvast staal en gietijzer. Roestvast staal bevat gemiddeld 8-10 % nikkel. Nikkel wordt ook gebruikt omwille van zijn magnetische eigenschappen: de meeste permanente magneten zijn een legering van ijzer en nikkel (Lewis & Cadwell, 2004). Andere toepassingen zijn ook nog het gebruik in batterijen, brandstofcellen of als katalysatoren en dergelijke meer.

Nikkel in het milieu. Bijna alle nikkel op aarde zit opgesloten in de binnenste vloeibare ijzern kern die voor 10 % uit nikkel bestaat (WHO, 2000). De oceaan vormt een ander belangrijk reservoir van nikkel. In de aardkorst bedraagt de concentratie 0,008 %. De meest algemene vormen van nikkel in de atmosfeer zijn nikkelsulfaat, het nikkeloxide complex en nikkel-Fe oxide complex. Daarenboven worden kleine hoeveelheden nikkel teruggevonden in

van koolwaterstoffen, lipiden, proteïnen en nucleïnezuren, alsook in de genexpressie (polynucleotide-transcriptie en -translatie). Aldus is het element waarschijnlijk voor alle levensvormen essentieel (WHO, 1996b). Zinkdeficiëntie kan leiden tot groeivertraging, huidaandoeningen, immunologische afwijkingen en kan eveneens een rol spelen bij anorexie (Miller et al., 2000). Bij mensen is de voornaamste blootstellingsroute voor zink de consumptie van voedsel. In principe kunnen mensen relatief grote concentraties zink verwerken. Teveel zink veroorzaakt darmklachten, huidirritaties en anemie. Het inademen van zinkdampen kan leiden tot koorts.

Referenties

- Apostoli P., Alessio L., Romeo L., Buchet J.P. & Leone R. (1997). Metabolism of arsenic after acute occupational intoxication. *J. Toxicol. Environm. Health*, 52(4): 331-342.
- ATSDR (1999). Agency for Toxic Substances and Disease Registry, US Department of Health and Human Services, Public Health Service, Toxicological profile for lead. In: ATSDR's Toxicological Profile on CD-ROM, version 4:1, 2001. Chapman and Hall/CRC, Londen, VK.
- Baldwin D.R. & Marshall W.J. (1999) Heavy metal poisoning and its laboratory investigation *Annals of Clinical Biochemistry* 36: 267-300.
- Daenens P. & Tygat J. (1995). Toxicologie, deel II (cursustekst 1995-1996). K.U.Leuven, Faculteit Farmaceutische Wetenschappen, Leuven, België.
- EEA (1999) Environment in the European Union at the turn of the century, 3.3 Hazardous substances. <http://www.eea.europa.eu/publications/92-9157-202-0/page303.html>.
- Ignatow A., McCutcheon W., Hoskin W., Fong D. & Koren E. (1991). Specialty Metals: Arsenic. In: Canadian Minerals Yearbook, 1990, Review and Outlook, Mineral Report 39. Energy, Mines and Resources Canada, Ottawa, 58.1-59.3. In: Canadian Council of Ministers of the Environment. The National Contaminated Sites Remediation Program. Canadian soil quality guidelines for contaminated sites. Human health effects: Inorganic arsenic, Final report.
- Lewis R.J. & Caldwell D.J. (1999). Scientific basis for an air quality standard for nickel, Brussels, 1999. CONCAWE, the oil companies European organization for environmental, health and safety.
- Miller L.V., Krebs N.F. & Hambidge K.M. (2000). Development of a compartmental model of human zinc metabolism: identifiability and multiple studies analyses. *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.*, 279: 1671-1684.
- Nawrot T., Plusquin M., Hogervorst J., Roels H.A., Celis H., Thijs L., Vangronsveld J., Van Hecke E. & Staessen J.A. (2006) Environmental exposure to cadmium and risk of cancer: a prospective population-based study. *Lancet Oncology* 7: 119-126.
- Pirrone N., Cinnirella S., Feng X., Finkelman R.B., Friedli H.R., Leaner J., Mason R., Mukherjee A.B., Stracher G.B., Streets D.G. & Termer K. (2010) Global mercury emissions to the atmosphere from anthropogenic and natural sources. *Atmos. Chem. Phys.*, 10, 5951-5964, 2010.
- Savolainen H. (1996). Biochemical and clinical aspects of nickel toxicity. *Rev. Environm. Health*, 11: 167-173.
- Slooff W., Cleven R.F.M.J., Janus J.A. & van der Poel P. (1990). Integrated criteria document chromium. RIVM, rapportnr. 710401002, Bilthoven, Nederland.
- Vangheluwe M., Verdonck F.A.M., Heijerick D.G., Vandenbroele M. & Van Sprang P. (2005). Application of the local SEM/AVS concept for assessing metal bioavailability in sediments on a regional or local scale. 15th Annual Meeting of SETAC-Europe, 22-26 May 2005, Lille, France.
- WHO (1996). Trace elements in human nutrition and health. World Health Organization, Genève, Zwitserland.
- WHO (1998). Guidelines for drinking-water quality, 2nd Ed. Vol. 2, Health criteria and other supporting information. World Health Organization, Genève, Zwitserland.
- WHO (2000). Air quality guidelines for Europe, 2nd Ed. WHO Regional Publications, European Series, No. 91. Regional Office for Europe, Kopenhagen, Denemarken.
- Wilson D.N. (1988) Cadmium – market trends and influences. In: Cadmium 87. Proceedings of the 6th International Cadmium Conference, London, Cadmium Association.

Begrippen

Aërosol: een gas met daarin fijne vaste stofdeeltjes en/of vloeistofdruppels.

Algicide: een stof die gebruikt wordt voor het afdoden van algen.

Amfoteer: een amfoteer oxide kan als basisch oxide én als zuur oxide reageren. Het woord is afkomstig van het Griekse amphoteros dat 'in beide richtingen' betekent. Bijvoorbeeld Al_2O_3 is onoplosbaar in water, maar het lost uitstekend op in zowel sterke zuren als in sterke basen.

Amine: een functionele groep bestaande uit een stikstofatoom met daaraan gebonden drie koolstof- of waterstofatomen. Amines lijken dus sterk op ammonia NH_3 .

Anemie: bloedarmoede.

Antifouling verf: verf op scheepsrompen die de aangroei van verschillende organismen belet.

Atmosferische depositie: proces waarbij in de lucht zwevende partikels en moleculen worden afgezet op het land of het water. Droge depositie via wind en gravitatie, natte depositie via neerslag.

Bio-accumulatie: opstapeling van lichaamsvreemde stoffen in plantaardige en dierlijke weefsels.

Biobeschikbaarheid: fractie van een pollutant die door organismen kan worden opgenomen.

Biomarker: meting in het menselijk lichaam of andere biologische media, die een beeld geeft van ofwel de blootstelling aan pollutanten (inwendige dosissen van pollutanten of hun metabolieten) ofwel vroegtijdige biologische effecten (biomarker van effect).

Body burden: totale hoeveelheid van een bepaalde stof die aanwezig is in een organisme.

Cellulaire receptor: een eiwit op de celmembranen die kan binden met een specifieke stof zoals een hormoon of andere eiwitten.

Chloor-alkali industrie: bedrijfstak die zich bezig houdt met de productie van chloor en alkali (bv. lithium, natrium ...) natriumhydroxide of kaliumhydroxide, door middel van elektrolyse van een zoutoplossing.

Complex: een ensemble van verschillende moleculen die gevormd worden door de combinatie van liganden en metaalionen. Een typisch voorbeeld is hemoglobine dat bestaat uit een ijzerion dat gebonden is aan vier organische moleculen.

Covalente binding: een covalente binding (of atoombinding) is een binding tussen atomen waarin de atomen een of meer gemeenschappelijke elektronenparen hebben. Niet-metalen gaan met elkaar covalente bindingen aan. In CH_4 bijvoorbeeld deelt elk waterstofatoom telkens één elektron met het koolstofatoom dat zelf 4 vrije elektronen heeft, zodat elke binding C-H uit één elektronenpaar bestaat.

Depositie: hoeveelheid van een stof of een groep van stoffen die uit de atmosfeer neerkomen in een gebied, uitgedrukt als een hoeveelheid per oppervlakte-eenheid en per tijdseenheid (bv. 10 kg Pb/ha.j).

Dermatitis: huidontsteking.

Diffuse verontreiniging: verontreiniging afkomstig uit niet-gelocaliseerde bronnen, meestal sterk, homogeen ruimtelijk verspreid door transport via lucht en water.

Ecotoxicologisch: betreffende de toxische effecten op organismen of ecosystemen.

Effluent: geloosd afvalwater, al dan niet gezuiverd.

Emissie: uitstoot of lozing van stoffen, golven of andere verschijnselen door bronnen, meestal uitgedrukt als een hoeveelheid per tijdseenheid.

Emissiefactor: coëfficiënt die de activiteitsdata relateert aan een hoeveelheid van een chemisch product. Dit product is de bron van latere emissies. Emissiefactoren zijn dikwijls gebaseerd op een staal van berekende data, waarvan het gemiddelde wordt genomen om een representatieve emissiefactor te ontwikkelen. Deze geldt voor een gegeven activiteit onder een gekende set van operationele condities.

Fertiliteit: vruchtbaarheid.

Fungicide: een stof die gebruikt wordt voor het afdoden van schimmels.

Genexpressie: proces waarbij de DNA sequentie van een gen wordt afgelezen en vervolgens vertaald om een specifiek eiwit aan te maken in de cel.

Grenswaarde: waarde die wettelijk niet overschreden mag worden. Een overschrijding van deze waarde moet aanleiding geven tot het treffen van maatregelen.

Insuline: een hormoon dat wordt aangemaakt door de betacellen van de pancreas. Insuline regelt samen met glucagon en adrenaline de bloedsuikerspiegel.

Isotoop: het chemisch element waartoe een atoom behoort wordt bepaald door het aantal protonen in de kern. Voor een gegeven aantal protonen kan daarnaast het aantal neutronen in de kern variëren; men spreekt dan van verschillende isotopen van hetzelfde element.

Legering: metaalmengsel.

Liganden: neutrale moleculen of ionen die een vrij elektronenpaar bezitten, dat gebruikt kan worden om een binding te vormen met een metaal-ion.

Membranfiltratie. bodemsaneringstechniek. Proces waarbij stoffen uit het water worden gehaald door middel van scheiding op basis van deeltjesgrootte en drukverschil.

Metaal: scheikundig element uit een van de volgende reeksen in het periodiek systeem der elementen: alkalimetalen, aardalkalimetalen, overgangsmetalen, hoofdgroepmetalen.

Metalloïden (semi-metalen): groep elementen die qua eigenschappen tussen de metalen en niet-metalen in zitten.

Metallothioneïne: eiwit dat dient om metalen in het lichaam te metaboliseren of om de concentratie ervan te reguleren. Het eiwit wordt vooral in de lever en de nieren aangemaakt.

Mutageen: veranderingen in genetisch materiaal veroorzakend.

Non-ferro industrie: die sector produceert non-ferro metalen (bv. aluminium, koper) en half-fabricaten (uit ertsen, primaire en/of secundaire grondstoffen).

Nucleïnezuren: scheikundige component van DNA.

Oxidatietoestand: de som van alle positieve en negatieve ladingen in een atoom. Atomen die elektronen aanvaarden zijn oxiderend; atomen die elektronen afgeven zijn reducerend. Het oxidatiegetal wordt gegeven in Romeinse cijfers, dit in tegenstelling tot de valentie.

Persistent: niet of zeer moeilijk afbreekbaar.

PM₁₀: zwevend stof (particulate matter) met een aërodynamische diameter kleiner dan 10 µm.

Puntbron: emissiebron die duidelijk aanwijsbaar is en beheersbaar is, bij modellering voorgesteld als punt (in tegenstelling tot lijn- en oppervlaktebronnen).

Redox: een redoxreactie is een reactie tussen moleculen en/of ionen waarbij elektronen worden uitgewisseld. De term redox is een samentrekking van de begrippen reductie en oxidatie. Dit soort reacties wordt veel toegepast in batterijen en accu's. Zie ook oxidatietoestand.

Sediment: bezinksel, afzetsel uit een vloeistof.

Spoorelement: de definitie verschilt afhankelijk van het wetenschappelijk domein. Analytisch gezien komt een spoorelement voor in concentraties lager dan 0,1 mg/g. Biochemisch echter is een spoorelement een essentieel element in lage concentraties. In geologie spreekt men van spoorelementen als de concentratie lager is dan 1 000 ppm.

Uitloging: oplosbare stoffen die in een substantie aanwezig zijn door behandeling met een waterig oplosmiddel van de onoplosbare afscheiden.

Valentie: het aantal bindingen dat een atoom kan aangaan met andere atomen ((bi, tri, tetra-, penta-, hexavalent). Valenties worden met de normale cijfernotatie aangeduid, in tegenstelling tot oxidatietrap die met Romeinse cijfers wordt voorgesteld.

Waterbodem: bodem van een oppervlaktewaterlichaam die altijd of een groot deel van het jaar onder water staat.

Zuurtegraad: maat voor de aanwezigheid van protonen/hydroxide-ionen in een medium.

Zware metalen: hieronder worden vaak de volgende acht elementen verstaan die door de Derde Noordzeeconferentie als prioritair worden beschouwd: As, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Ni en Zn. Als sporenelementen zijn veel van deze elementen noodzakelijk voor het ondersteunen van het biologisch leven. Bij hogere niveaus worden ze daarentegen toxisch, kunnen ze accumuleren in biologische systemen en vertegenwoordigen ze een significant gezondheidsrisico.

Afkortingen

EEA: European Environment Agency

VMM: Vlaamse Milieumaatschappij

WGO: Wereldgezondheidsorganisatie

Scheikundige symbolen

As: arseen

Cd: cadmium

Cr: chroom

Cu: koper

Hg: kwik

Ni: nikkel

Pb: lood

Zn: zink

[Terug naar inhoudsopgave](#)