



Wegwijzer Waterkwaliteit

Factsheets

September 2024



Wegwijzer waterkwaliteit

Factsheets

September 2024







Voorwoord

Voor u ligt een overzichtelijke en gebundelde set van in totaal 79 factsheets volgens de tabellen I, II, IIIa tot en met IIIc, en IV van [Bijlage A](#) van de vigerende editie van het [Drinkwaterbesluit](#), aangevuld met enkele andere relevante parameters die daarin (nog) niet voorkomen zoals asbest, microplastics en nanodeeltjes. Deze set kan worden gezien als de opvolger van de Vewin Wegwijzer Waterkwaliteit uit 2001.

Deze factsheets geven per waterkwaliteitsparameters aan welke grenswaarden ervoor gelden, wat de grondslag van een grenswaarde is, wat de herkomst is van de parameter, hoe de consument hieraan wordt blootgesteld, wat de gezondheidkundige betekenis is en welke zuiveringstechniek(en) beschikbaar is/zijn om een stof (deels) uit het water te verwijderen of de concentratie of waarde van een parameter te reduceren. Omdat de informatie in de factsheets leesbaar is opgeschreven en is voorzien van een algemene toelichting, geeft dit een inhoudelijk, deugdelijk handvat geven aan waterprofessionals, voorlichters en management wat makkelijk vertaald kan worden voor communicatieve doeleinden. Door uit dezelfde bron te putten voor de informatie die soms moeilijk over te brengen en gevoelig van aard is, wordt het voor de sector eenvoudiger om hier eenduidig over te communiceren.

De werkzaamheden voor het tot stand komen van deze factsheets zijn in opdracht van Vewin uitgevoerd door KWR met medewerking van RubiConsult, onder begeleiding van een inhoudelijke begeleidingsgroep bestaande uit vertegenwoordigers van de drinkwaterbedrijven Dunea, WMD Drinkwater, Waternet, Oasen en Vewin.

Alle factsheets zijn ook centraal beschikbaar voor betrokkenen uit de drinkwatersector via een afgeschermd SharePoint-webpagina, zie [EXT - Platform Bedrijfsvoering en Praktijkcodes - eigenlijke factsheets - All Documents \(sharepoint.com\)](#). Om de factsheets actueel te houden en nieuwe relevante kennis te verwerken wordt vanaf 2025 een 'vijfjaarsrevisie' uitgevoerd. Deze revisie impliceert dat een factsheet iedere vijf jaar in beeld is voor actualisatie. Ook kunnen nieuwe factsheets (voor parameters niet in het Drinkwaterbesluit) worden opgesteld.

Deze gebundelde versie is van eind 2024. Niet om extern te delen. Controleer altijd op nieuwe updates.





Inhoudsopgave

Voorwoord	4
• Acrylamide	9
• Aeromonas	12
• Aluminium	14
• Ammonium	17
• Antibioticaresistentie	19
• Antimoon	22
• AOX (adsorbeerbare organische halogeenverbindingen)	25
• Aromatische amines	27
• Arseen	29
• Asbest	34
• Bacteriën van de coligroep	38
• Bacteriofagen	40
• Benzeen en andere monocyclische koolwaterstoffen/aromaten	43
• Benzo(a)pyreen en (andere) polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's)	48
• Bestrijdingsmiddelen (pesticiden)	52
• Bisfenol A (BPA)	57
• Boor	61
• Bromaat	63
• Cadmium	66
• Campylobacter	69
• Chloor en vrij chloor inclusief trihalomethanen	72
• (Chloor)fenolen	77
• Chloraat	80
• Chloride	84
• Chloriet	87
• Chroom	90
• Clostridium perfringens (inclusief sporen)	93
• Contrastmiddelen	96
• Cryptosporidium en Giardia	100
• Cyaniden (totaal)	104
• Diergeneesmiddelen	106
• Diglyme(n)	109
• DOC/TOC en Oxideerbaarheid	112



•	EDTA	115
•	Enterococcen	119
•	Epichloorhydrine	129
•	Escherichia coli (E. coli)	131
•	Fluoride	134
•	Gehalogeneerde azijnzuren (HAA's)	137
•	Gehalogeneerde alifatische koolwaterstoffen, tetra- en trichlooretheen en 1,2-dichloorethaan	140
•	Gehalogeneerde monocyclische koolwaterstoffen	144
•	Geleidingsvermogen	147
•	Geneesmiddelen (humane geneesmiddelen)	149
•	Geur, smaak en kleur	154
•	Hardheid (totaal): calcium en magnesium	157
•	Hormoonverstorende stoffen	160
•	Koloniegetal bij 22°C	165
•	Koper	167
•	Kwik	170
•	Legionella	173
•	Lood	178
•	Mangaan	183
•	Melamine	185
•	Microcystine-LR	190
•	Microplastics	198
•	MTBE (methyl-tertiair-butylether) en ETBE (ethyl-tertiair-butylether)	202
•	Nanodeeltjes	207
•	Natrium	211
•	Nitraat en nitriet	213
•	N-nitrosodimethylamine (NDMA)	217
•	Nikkel	219
•	Polychloorbifenylen (PCB's)	222
•	Poly- en perfluoralkylstoffen (PFAS)	225
•	Pyrazool	233
•	Radioactiviteit	236
•	Saturatie Index (SI)	240
•	Seleen	243
•	Sulfaat	246
•	Temperatuur	249
•	Troebeling	251
•	Uranium	254
•	Verdovende middelen ('Drugs')	256



•	Vinylchloride	261
•	Virussen	264
•	Waterstofcarbonaat ('bicarbonaat')	271
•	IJzer	273
•	Zink	276
•	Zuurgraad (pH)	278
•	Zuurstof	280
Bijlagen 284		
•	Afkortingen	286
•	Begrippen	288
•	Toelichtingen	289

● Acrylamide

Grondslag norm: gezondheidkundig

Drinkwaterbesluit 2011: maximum waarde 0,1 µg/l

WHO: richtwaarde 0,5 µg/l

EG-Drinkwaterrichtlijn 1998: parameterwaarde 0,1 µg/l

Introductie

Acrylamide is in het [Drinkwaterbesluit](#) opgenomen, omdat de stof vrij kan komen als een polyacrylamide-houdend vlokhelpmiddel bij de bereiding van drinkwater wordt toegepast. De Nederlandse drinkwaterbedrijven gebruiken deze vlokhelpmiddelen op beperkte schaal. Voor de volledigheid wordt hieronder toch de beschikbare informatie over acrylamide gepresenteerd.

Herkomst

Acrylamide is een organische verbinding met als molecuulformule C_3H_5NO . De systematische naam is 2-propeenamide. De stof komt voor als een witte, reukloze kristallijne vaste stof [2]. Acrylamide is goed oplosbaar in water, ethanol, ether en chloroform. Acrylamide wordt voornamelijk gebruikt in de productie van wateroplosbaar verdikkingsmiddel. Dat middel kan worden toegepast bij bijvoorbeeld het maken van papier, ertsbewerking, de fabricage van kreukvrije stoffen en gel-elektroforese (een laboratoriumtechniek). Een deel van de acrylamide wordt gebruikt in de productie van bijvoorbeeld verfstoffen [2].

Acrylamide is een 'high production volume chemical (HPVC)' en wordt geproduceerd en/of geïmporteerd in de EU met een productievolume van 100.000 – 1.000.000 ton per jaar. De stof heeft 57 actieve registraties binnen REACH [4]. De emissie naar het oppervlaktewater is niet goed gekwantificeerd [10].

Bij de behandeling van afvalwater kan acrylamide vrijkomen bij de vlokformingsprocessen als polyacrylamide-houdende 'vlokhelpmiddelen' worden gebruikt. Deze vlokhelpmiddelen versterken de na de dosering van vlokmiddelen gevormde vlokken [1, 3], waardoor die gemakkelijker uit het water kunnen worden verwijderd. Bij de toepassing van deze vlokhelpmiddelen komt daarin aanwezig residueel acrylamide vrij dat in het oppervlaktewater terecht kan komen.

Blootstellingsroutes

De blootstelling via drinkwater is nihil of verwaarloosbaar ten opzichte van de blootstelling via voedsel [1]. Acrylamide wordt gevormd bij het bereiden van voedsel op hoge temperatuur (boven de 120°C). De stof kan bijvoorbeeld aanwezig zijn in gefrituurde en geroosterde voedselproducten zoals brood, chips en patat [1]. Volwassenen krijgen via voedsel gemiddeld de meeste acrylamide binnen via aardappelproducten en koffie. Bij kinderen leveren aardappelproducten en koek de grootste bijdrage [1].

Gezondheidkundige betekenis

De stof acrylamide kan effecten hebben op het zenuwstelsel en de voortplantingsorganen. Op basis van gecombineerde borst-, schildklier- en baarmoedertumoren waargenomen bij vrouwelijke ratten in een drinkwateronderzoek wordt de richtwaarde die is gekoppeld aan een extra kankerrisico van 10^{-5} geschat op 0,5 µg/l [1, 7, 8]. Ook kan er sprake zijn van irritatie van de huid of van een allergische huidreactie [4]. De stof is op basis van deze gegevens gekenmerkt als 'waarschijnlijk kankerverwekkend' [1], mutageen en mogelijk schadelijk voor de ongeboren vrucht. Het is bij ECHA geregistreerd als een 'Substance of Very High Concern' (SVHC) [4]. In Nederland is het geregistreerd als een ZZS-stof [5].

Vanuit EFSA is nog meer informatie over acrylamide beschikbaar, maar die is nog niet verwerkt in deze factsheet [15].

Normen en richtlijnen verklaard

De stof acrylamide is genormeerd op 0,1 µg/l in het [Drinkwaterbesluit](#) (tabel II, Chemische parameters) en is opgenomen, omdat de stof kan worden toegepast als vlokhuipmiddel bij de bereiding van drinkwater.

In zowel de [Europese Drinkwaterrichtlijn](#) als in de nationale wet- en regelgeving ([Drinkwaterbesluit](#) en [Drinkwaterregeling](#)) wordt gewezen op in polymere producten aanwezig residueel acrylamide als monomeer. In de ministeriële [Regeling materialen en chemicaliën drink- en warm tapwatervoorziening](#) is de toepassing van producten op basis van polyacrylamide als vlokhuipmiddel expliciet beschreven. Net als alle chemicaliën ten behoeve van de bereiding van drinkwater dienen commercieel verkrijgbare vlokhuipmiddelen op basis van polyacrylamide over een 'erkende kwaliteitsverklaring' op basis van die [Regeling](#) te beschikken. Dergelijke verklaringen worden afgegeven door een 'erkende certificatie-instelling'. In het geval van vlokhuipmiddelen met een erkende kwaliteitsverklaring wordt de maximum waarde van 0,1 µg/l acrylamide in drinkwater bij normaal gebruik van deze handelsproducten (beschreven in de kwaliteitsverklaring) niet overschreden.

Aanwezigheid in drinkwater(bronnen) en monitoring

Er is geen wettelijke verplichting voor drinkwaterbedrijven voor het meten van acrylamide in drinkwater, ook niet als die bedrijven vlokhuipmiddelen op basis van polyacrylamide toepassen. Acrylamide wordt door drinkwaterbedrijven niet gemeten (in bronnen voor) drinkwater, omdat de toepassing van die middelen op basis van berekeningen in het kader van het verkrijgen van een erkende kwaliteitsverklaring niet tot overschrijdingen leidt. Ook metingen in het bereide of gedistribueerde drinkwater zijn niet bekend.

In 2020 zijn door de drinkwaterbedrijven Evides Waterbedrijf en Dunea metingen uitgevoerd in de bronnen van drinkwater vanwege de zorg rondom de stort van granuliet in de Maas [9]. Acrylamide is tot september 2020 niet aangetroffen in concentraties boven de rapportagegrens van 0,1 µg/l in het water van die rivier [6].

Zuivering

Acrylamide is geen persistente verbinding. Op basis van de goede oplosbaarheid, lagere molecuulmassa en de waarde van de zogeheten octanol/water-coëfficiënt is het te verwachten dat acrylamide niet goed wordt verwijderd door actieve kool [6]. Op basis hiervan is het niet de verwachting dat conventionele zuiveringsprocessen voor de bereiding van drinkwater ([coagulatie](#), [flocculatie](#), [sedimentatie](#), gevolgd door [filtratie](#)) acrylamide kunnen verwijderen [11]. Literatuuronderzoek laat zien dat onderzoek is uitgevoerd naar de alternatieve middelen voor polyacrylamide, vanuit de zorgen dat de stof acrylamide in drinkwater toxisch zou kunnen zijn [12, 13, 14]. Hieruit valt ook verder te concluderen dat het monomeer, bij gebruik van het polymeer aan het begin van het proces (als hulpstof bij [coagulatie](#)/[flocculatie](#)) in het water terecht komt en in de volgende stappen van de zuivering niet meer goed wordt verwijderd [11].

Referenties

[1] World Health Organization (2017): 'Guidelines for drinking-water quality; Fourth edition incorporating the first addendum', ISBN 978-92-4-154995-0, Geneva.

<https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/254637/9789241549950-eng.pdf;jsessionid=2664217407E6F72C0DD4BA2B94E7D61B?sequence=1>

[2] <https://nl.wikipedia.org/wiki/Acrylamide>

[3] Staatscourant (2017): 'Regeling van de Minister van Infrastructuur en Milieu van 12 april 2017, nr. IENM-BSK-2017/55565 tot wijziging van de Regeling materialen en chemicaliën drink- en warm tapwatervoorziening (technische aanpassingen 2017)' van 21 april 2017 ([oorspronkelijke editie](#)), nr. 20932, datum inwerkingtreding 1 juli 2017.

vigerend vanaf 1 juli 2017: [Regeling materialen en chemicaliën drink- en warm tapwatervoorziening](#)

[4] ECHA (2020): webpagina met informatie over acrylamide, European Chemicals Agency. <https://echa.europa.eu/nl/substance-information/-/substanceinfo/100.001.067>

[5] RIVM (2020): webpagina met informatie over acrylamide, website stofgegevens, RIVM, Bilthoven. <https://rvszoekstelsysteem.rivm.nl/stof/detail/235>

[6] Fisher, A. (2020): factsheet acrylamide, Evides Waterbedrijf.

[7] Bull, R.J., Robinson, M, Laurie, D., Stoner, G.D., Greisiger, E., Meier, J.R., en Stober, E. (1984): 'Carcinogenic effects of acrylamide in Sencar and A/J mice', Cancer Research, volume 44, number 1, pages 107 – 111. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/6360343/>

[8] WHO (2011): 'Acrylamide in drinking-water; Background document for development of WHO guidelines for drinking-water quality', World Health Organisation, Geneva, Switzerland. https://www.who.int/water_sanitation_health/publications/acrylamide/en/

[9] H₂O (2020): 'Rijkswaterstaat maakte 'afvaldump' in natuurplas Alphen mogelijk', H₂O artikel. <https://www.h2owaternetwerk.nl/h2o-actueel/rijkswaterstaat-betrokken-bij-afvaldump-in-natuurplas-alphen>

[10] Tepe, Y., and Cebi, A. (2017): 'Acrylamide in Environmental Water: A Review on Sources, Exposure, and Public Health Risks', Exposure and Health, volume 11, pages 3 – 12. <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs12403-017-0261-y>

[11] Hofman-Caris, R. (2020): persoonlijke mededeling onderzoeker KWR.

[12] Ding, S., Chu, W., Bond, T., Cao, Z., Xu, B., and Gao N. (2018): 'Contribution of amide-based coagulant polyacrylamide as precursors of haloacetamides and other disinfection by-products', Chemical Engineering Journal, volume 350, pages 356 – 363. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1385894718310398>

[13] Lapointe, M., and Barbeau, B. (2015): 'Evaluation of activated starch as an alternative to polyacrylamide polymers for drinking water flocculation', Journal of Water Supply: Research and Technology – Aqua, volume 64, issue 3, pages 333 – 343. <https://iwaponline.com/aqua/article-abstract/64/3/333/29388/Evaluation-of-activated-starch-as-an-alternative?redirectedFrom=fulltext>

[14] Zhou, F. S., Li, J., Zhou, L., and Liu, Y. (2015): 'Preparation and mechanism of a new enhanced flocculant based on bentonite for drinking water', Earth Materials and Environmental Applications, volume 2015. <https://www.hindawi.com/journals/amse/2015/579513/>

[15] EFSA (2015): 'Scientific Opinion on acrylamide in food', EFSA Journal, European Food Safety Authority, Parma, Italy. <https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.2903/j.efsa.2015.4104>

● Aeromonas

Grondslag norm: bedrijfstechnisch

Drinkwaterbesluit 2011: maximum waarde 1.000 kve/100 ml

WHO 2017: geen richtwaarde

EU Drinkwaterrichtlijn 2020: geen vermelding

Herkomst

Aeromonas is een geslacht van Gram-negatieve, geen sporenvormende, facultatief anaerobe staafvormige bacteriën uit de familie *Vibrionaceae*. Ze komen algemeen voor in water, bodem en voedsel, zoals vlees, vis en melk [1]. *Aeromonas* wordt regelmatig aangetroffen in drinkwater, hoofdzakelijk als gevolg van nagroei in filters (zuivering), in reservoirs voor reinwater, in het leidingnet [1] en in zuiveringen bij sterk wisselende productie [2]. De aantallen zijn daarbij een fractie ($< 0,1\%$) van het totaal aantal bacteriën in drinkwater [3]. Mogelijk groeit *Aeromonas* op biomassacomponenten in sediment en biofilm in het leidingnet [4].

Niet alle factoren die een rol spelen bij het vóórkomen van *Aeromonas* in drinkwater zijn bekend, maar (een mix van) het gehalte aan organische stof, de temperatuur, de verblijftijd van het water in het leidingnet en de aanwezigheid van een restconcentratie van een desinfectiemiddel zijn factoren die de *Aeromonas*-aantallen in het leidingnet kunnen beïnvloeden [1]. Er zijn ook recente aanwijzingen dat de aanwezigheid van *Aeromonas* in het leidingnet mogelijk samenhangt met de aanwezigheid van ongewervelde dieren, met name de waterpissebed, *Asellus aquaticus* [5, 6, 7].

Blootstellingsroutes

Aeromonas-bacteriën komen algemeen voor in zowel grond-, oppervlakte- en drinkwater als in voedsel, waardoor veel mensen worden blootgesteld aan *Aeromonas*.

Gezondheidskundige betekenis

In 1984 werd een opvallende toename van het aantal *Aeromonas*-bacteriën in het Haagse drinkwater geconstateerd. Deze waarneming viel samen met een publicatie van Australische onderzoekers waarin een causaal verband werd gelegd tussen *Aeromonas* en het voorkomen van maag-darmklachten (gastro-enteritis) bij mensen. In Nederland is daarna uitgebreid onderzoek uitgevoerd naar de betekenis van *Aeromonas* in drinkwater als veroorzaker van diarree. Hierbij werden uit feces geïsoleerde stammen vergeleken met die uit drinkwater om zo een eventuele rol van drinkwater als besmettingsbron na te gaan. Het bleek dat er slechts weinig overeenkomst was tussen de isolaten uit beide bronnen [5]. Ook de WHO gaat er op grond van veel onderzoek van uit dat er geen bewijs is dat *Aeromonas* in drinkwater gastro-enteritis veroorzaakt [1]. In de Verenigde Staten heeft de EPA (Environmental Protection Agency) in 2009 *Aeromonas* van de CCL (kandidatenlijst van mogelijk te normeren parameters) gehaald. Ook in Nederland wordt *Aeromonas* als niet-gezondheidskundig relevant voor mensen beoordeeld [5]. Wel is bekend dat bepaalde *Aeromonas*-soorten ziekteverwekkend voor vissen zijn.

Normen en richtlijnen verklaard

Aeromonas heeft dus geen gezondheidskundige betekenis en om die reden geeft de WHO geen richtwaarde. In de Europese Drinkwaterrichtlijn is geen maximale waarde opgenomen. In Europa en de rest van de wereld heeft uitsluitend Nederland een wettelijke maximum waarde voor *Aeromonas*. *Aeromonas* wordt net als het koloniegetal bij 22°C beschouwd als een indicator voor nagroei en is daarom als bedrijfstechnische parameter in het Drinkwaterbesluit opgenomen. Overschrijdingen van de wettelijke norm (1.000 kve/100 ml) worden door ILT gedoogd, omdat *Aeromonas* geen directe gezondheidskundige betekenis heeft. Overschrijdingen van de wettelijke maximum waarde leiden dus niet direct tot noodzakelijke maatregelen. Wel voeren drinkwaterbedrijven nader onderzoek uit naar de oorzaak van de verhoogde aantallen *Aeromonas* als deze aantallen structureel en/of langdurig zijn verhoogd.

Aanwezigheid in drinkwater en monitoring

Aeromonas kan worden aangetroffen boven de detectiegrens van 1 kve/100 ml in drinkwater dat wordt bereid uit zowel grondwater als oppervlaktewater. De biologische stabiliteit van het reinwater lijkt daarbij voorspellend te zijn voor de aantallen *Aeromonas* in het leidingnet. Relatief hoge aantallen *Aeromonas* worden met name aangetroffen in het leidingnet van drinkwaterproductielocaties die oppervlaktewater na passage van een bekken behandelen en drinkwaterproductielocaties die grondwater met relatief hoge concentraties TOC, methaan, ammonium, ijzer en/of mangaan innemen. In die leidingnetten kunnen overschrijdingen voorkomen van de wettelijke maximum waarde voor *Aeromonas* aan sommige tappunten tijdens warme periodes.

Zuivering

Desinfectie (UV, ozon, chloordioxide en chloor) is effectief in het verwijderen van *Aeromonas* in het drinkwater af pompstation, maar voorkomt niet dat nagroei plaatsvindt in het leidingnet. Dit geldt als er geen restconcentratie desinfectiemiddel in het drinkwater aanwezig is, zoals in Nederland normaliter overal het geval is. Bij grondwaterzuiveringen die in Nederland over het algemeen geen desinfectiestap hebben, kan *Aeromonas* zich in de filters vermenigvuldigen, waarna ze in het leidingnet terechtkomen.

Voor drinkwater dat wordt bereid uit zuurstofloos (anaeroob) grondwater is het van belang om de ontwikkeling van *Aeromonas* in de filters te beperken door de methaanbelasting op de filters te verlagen door middel van aeratie/ontgassing. Methaan leidt niet direct tot groei van *Aeromonas*, maar *Aeromonas* kan groeien op de biomassa van bacteriën die in het filter methaan gebruiken als energiebron [8].

Referenties

- [1] WHO Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first and second addenda. Geneva: World Health Organization; 2022.
[9789240045064-eng \(2\).pdf](#)
- [2] Versteegh, J.F.M., Havelaar, A.H., During, M. (1990). Voorkomen en betekenis van *Aeromonas* in drinkwater. *H₂O* 23, 196-201, 221.
- [3] van der Wielen, P.W.J.J. Effect van waterkwaliteit, seizoen, drinkwaterinstallatie en verblijftijd/afstand op opportunistische pathogenen in drinkwater. BTO 2014.015. KWR Water Research Institute, Nieuwegein, Nederland.
- [4] Van der Kooij, D. (1991). Nutritional requirements of aeromonads and their multiplication in drinking water. *Experientia* 47, 444-446.
- [5] van Bel N., van der Wielen P., Wullings B., van Rijn J., van der Mark E., Ketelaars H., Hijnen, W. (2021). *Aeromonas* species from non-chlorinated distribution systems and their competitive planktonic growth in drinking water. *Applied Environmental Microbiology* 87, <https://doi.org/10.1128/AEM.02867-20>.
- [6] Hijnen, W.A.M., Schurer, R., Bahlman, J.A., Ketelaars, H.A.M., Italiaander, R., van der Wal, A., van der Wielen, P.W.J.J. (2018). Slowly biodegradable organic compounds impact the biostability of non-chlorinated drinking water produced from surface water. *Water Research* 129, 240-251.
- [7] Ketelaars, H.A.M., Wagenvoort, A.J., Peters, C.F.M., Wunderer, J., Hijnen, W.A.M. (2023). Taxonomic diversity and biomass of the invertebrate fauna of nine drinking water treatment plants and their non-chlorinated distribution systems. *Water Research* (ingediend).
- [8] Van Dijk-Looijaard, A.M. (1993). Herziening Normen Waterleidingbesluit. SWO 92.294. KIWA, Nieuwegein.

● Aluminium

Grondslag norm: esthetisch/organoleptisch

Drinkwaterbesluit 2011: maximum waarde 200 µg/l (meldingsplicht bij dreigende overschrijding van 30 µg/l i.v.m. nierdialyse)

WHO 2017: Geen vermelding

EU Drinkwaterrichtlijn 2020: parameterwaarde 200 µg/l

Herkomst

Aluminium is een in de natuur veel voorkomend element: ongeveer 8% van de aardkorst bestaat uit aluminium. Aluminium en aluminiumverbindingen worden gebruikt in de vliegtuig-, metaal- en chemische industrie, in de bouw, in verpakkingen, in verpigmenten, geneesmiddelen en voedseladditieven en als coagulatiemiddel bij het zuiveren van water. Aluminium kan in het milieu terecht komen door emissies vanuit de industrie, autoverkeer en sigarettenrook, maar kan ook van nature aanwezig zijn in de bodem [1].

Aluminium kan van nature in voedsel aanwezig zijn of is het gevolg van het gebruik van voedseladditieven. Door het gebruik van aluminium keukengerei en folie kan het aluminiumgehalte in voedsel stijgen, hoewel dit in het algemeen van ondergeschikt belang is. Voedsel met een van nature hoger aluminiumgehalte betreffen aardappelen, spinazie en thee. Voor bewerkte melkproducten, meel en zuigelingenvoedsel kunnen hogere gehalten aluminium zoals aluminium-gebaseerde voedseladditieven zijn gebruikt [1].

Blootstellingsroutes

Voedingsmiddelen leveren de grootste bijdrage aan de dagelijkse inname van aluminium. De dagelijkse aluminiumopname uit voedsel wordt geschat op 2 tot 10 mg per dag [1]. De bijdrage vanuit de lucht is verwaarloosbaar [2]. Blootstelling aan aluminium vindt ook plaats via persoonlijke verzorgingsproducten, schoonmaakmiddelen, bodemdeeltjes (met name kinderen tot circa 10 jaar die bodemdeeltjes via hand-mondcontact inslikken) en via vaccins en sommige medicijnen, zoals bepaalde maagzuurremmers [2]. In sommige voedingssupplementen op basis van klei kan ook veel aluminium zitten. Daarom raadt het RIVM volwassenen af om (vaak of langdurig) ontslakkingsklei te gebruiken of zwangerschapsklei in te nemen [2]. Aluminium uit huidverzorgingsproducten zoals deodorant en zonnebrand, dringt nauwelijks door de huid heen. Hierdoor is de blootstelling van het lichaam aan aluminium door gebruik van deze producten heel laag [2].

Gezondheidskundige betekenis

Regelmatig keren vragen terug over de relatie tussen de inname van aluminium (onder andere via drinkwater) en de ziekte van Alzheimer. Het precieze mechanisme van de ziekte van Alzheimer is onbekend en er is geen bewijs dat aluminium een veroorzaker is van de ziekte. Desalniettemin zijn er studies die hebben laten zien dat patiënten met de ziekte van Alzheimer hogere gehalten aluminium in hun hersenen kunnen hebben. Omdat er geen bewijs is voor een direct causaal verband tussen blootstelling aan aluminium en het ontstaan van Alzheimer kan slechts de hypothese worden opgesteld dat aluminium een rol speelt bij het ontstaan van de ziekte, een cofactor daarbij is of dat het een bijproduct is van de ziekte [2]. Volgens het RIVM is de totale blootstelling aan aluminium uit met name voedsel, drinkwater, consumentenproducten en bodem niet schadelijk voor de gezondheid. Dat komt omdat de totale blootstelling via deze blootstellingsroutes over het algemeen ruim beneden de gezondheidkundige grenswaarde (2 mg/kg lichaamsgewicht/week) ligt, die is gebaseerd op neurotoxische effecten in ratten. Deze grenswaarde wordt bij uitzondering overschreden en dan slechts in lichte mate [2].

In 2019 heeft drinkwaterbedrijf Vitens door adviesbureau Pallas onderzoek laten uitvoeren naar de gezondheidkundige betekenis van aluminium in drinkwater [6]. De conclusie van dit rapport is

dat in een beperkt aantal documenten (zonder systematische wetenschappelijke onderbouwing) een grenswaarde van 30 µg/l voor drinkwater wordt genoemd en dat concentraties in drinkwater vaak aanzienlijk hoger liggen dan die grenswaarde.

Normen en richtlijnen verklaard

De grondslag van de maximale waarde voor aluminium in drinkwater volgens zowel de Europese Drinkwaterrichtlijn als het Drinkwaterbesluit van 200 µg/l is esthetisch/organoleptisch. Dit betekent dat bij hogere concentraties dan die waarde onder andere verkleuring en afzettingen in het water kunnen optreden, hetgeen tot klachten van consumenten kan leiden. In de aanwezigheid van aluminium kan ijzer (in concentraties die normaal gesproken te laag zijn om problemen te veroorzaken) verkleuring van het water veroorzaken. De WHO geeft aan dat op basis van JECFA-onderzoek een gezondheidkundige richtwaarde van 900 µg/l zou kunnen worden afgeleid. Ze geeft echter de voorkeur aan een praktisch niveau voor de maximale concentratie van aluminium in drinkwater. Dit niveau is 200 µg/l en is gebaseerd op het niveau dat kan worden bereikt bij het optimale gebruik van aluminium in de zuivering [4].

Naast de maximale waarde is ook een meldingswaarde van 30 µg/l opgenomen in het Drinkwaterbesluit. Deze waarde heeft wel een gezondheidkundige inslag. In het Drinkwaterbesluit staat dat een (dreigende) overschrijding van deze concentratie aan ILT (toezichthouder) dient te worden gemeld in verband met het eventueel gebruik van het drinkwater voor nierdialyse. Door hun slechte nierfunctie kunnen nierdialysepatiënten het aluminium namelijk niet voldoende uitscheiden. In het geval gedurende langere tijd hoge concentraties aluminium in het drinkwater aanwezig zijn, kan dit leiden tot verslechterde botvorming, hersenschade en verminderde aanmaak van rode bloedcellen met in het ergste geval sterfte van de patiënt [3].

Nierdialyseapparatuur moet daarom volgens de richtlijn van de NFN (Nederlandse Federatie voor Nefrologie) zijn uitgerust met aluminium-verwijderende voorprocessen, zoals (met name) omgekeerde osmose (RO) of electrodeminalisatie (EDI).

Aanwezigheid in drinkwater(bronnen) en monitoring

Aluminium dient volgens de Drinkwaterregeling na de laatste zuiveringsstap ofwel aan het tappunt en in het ruwe water te worden gemeten. In het geval aluminium als vlokmiddel wordt gebruikt, geldt volgens de die ministeriële regeling een verhoogde meetfrequentie in het water na behandeling, afhankelijk van de hoeveelheid water dat wordt geproduceerd (meer of minder dan 1.000 m³ per dag).

Tussen 2015 en 2020 wordt aluminium na de zuivering of aan het tappunt in 93% van de locaties aangetroffen als oppervlaktewater de bron is. In drinkwater geproduceerd uit grondwater wordt aluminium in 48% van de locaties aangetroffen. Dit percentage neemt iets toe over de jaren en dat kan liggen aan een verlaagde rapportagegrens. Deze varieert in de jaren tussen 1,0 en 5,0 µg/l. De mediaanconcentratie ligt voor alle jaren en voor zowel grond- als oppervlaktewater als bron onder de rapportagegrens. Gemeten maxima liggen tussen de 26 en 87 µg/l in het geval oppervlaktewater de bron is. Bij grondwater als bron zijn de maxima iets hoger: tussen 33 µg/l en 167 µg/l.

In ruw grondwater wordt aluminium op 38% van de locaties aangetroffen. De mediaanconcentraties liggen ook hier onder de rapportagegrens. Gemeten maxima in ruw grondwater zijn > 350 µg/l. In ruw oppervlaktewater is aluminium slechts 14 keer gerapporteerd tussen 2015 en 2020. Het wordt al deze keren aangetroffen. Mediaanconcentraties liggen rond de 117 µg/l. Alle maxima liggen boven 160 µg/l, met als hoogste waarde 1.300 µg/l in 2018.

Hogere concentraties aluminium (> 200 µg/l) in het grondwater komen met name voor in zandgebieden. Het betreft zandgebieden met uiteenlopend landgebruik (bebouwing, akkerbouw, natuur) door heel Nederland. Voornamelijk in het ondiepe grondwater (circa 10 m diepte) worden deze hogere concentraties aangetroffen. De lage pH van ondiep grondwater in zandgronden leidt tot het oplossen van aan de bodem gebonden aluminium in grondwater [5].

In de ILT-rapportages over de jaren 2015 – 2021 is in 2018 voor aluminium een keer een (wettelijke) overschrijding gemeld (herkomst en oorzaak niet nader gespecificeerd).

Zuivering

Aluminiumzouten kunnen bij de bereiding van drinkwater als vlok- of coagulatiemiddel worden gebruikt. Die zouten zijn ook in het buitenland c.q. ontwikkelingslanden een algemeen toegepast vlokmiddel, omdat die makkelijk zijn te verwerken en in vaste vorm beschikbaar zijn (in tegenstelling tot ijzerzouten). Om de restconcentratie aluminium te minimaliseren, dient (i) de optimale zuurgraad te worden gebruikt, (ii) een overmatige dosering van het zout te worden vermeden, (iii) goed te worden gemengd bij de dosering en (iv) een optimale mengsnelheid te worden ingesteld [1]. In Nederland worden ijzerzouten het meest toegepast als vlokmiddel in verband met het feit dat Aluminiumzouten toxisch zijn voor planten en als negatief worden beoordeeld in de ecologische weging. Aluminium is in het algemeen goed te verwijderen door snelfiltratie bij een pH van ongeveer 7 [7].

Referenties

[1] WHO. (2011). Aluminium in Drinking-Water. Background document for development of WHO *Guidelines for Drinking-water Quality*. WHO/SDE/WSH/03.04/53. WHO, Genève.

[Microsoft Word - GDWQ.2ndEdit.Aluminium.doc \(who.int\)](#)

[2] Affourtit, F., Bakker, M.I., Pronk, M.E.J. (2020). Human health risk assessment of aluminium. RIVM report 2020-0001. RIVM, Bilthoven.

[3] Meijer van Putten, J.B. (1993): 'Dialysepatiënten gestorven aan aluminiumvergiftiging', Nederlands Tijdschrift voor Geneeskunde, 137: 1367-8.

<https://www.ntvg.nl/artikelen/dialysepatiënten-gestorven-aan-aluminiumvergiftiging>

[4] WHO Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first and second addenda. Geneva: World Health Organization; 2022.

[9789240045064-eng \(2\).pdf](#)

[5] <https://www.rivm.nl/aluminium-toestand-2015-2018>).

[6] Deursen, B. van, Eeuwijk, J., Vonk Noordegraaf-Schouten, M. (2020): 'Norm voor aluminium in drinkwater en de relatie tot gezondheid; Een inventarisatie', Pallas health research and consultancy in opdracht van Vitens, Rotterdam (rapport niet openbaar beschikbaar).

[7] Moel, P.J. de, Dijk, J.C. van, Verberk, J.Q.J.C (2006) 'Drinking Water Principles and Practices' boek

● Ammonium

Grondslag norm: indicator – bedrijfstechnisch

Drinkwaterbesluit 2011: maximum waarde 0,2 mg/l NH_4^+

WHO: geen vermelding

EG-Drinkwaterrichtlijn 1998: parameterwaarde 0,5 mg/l NH_4^+ (indicatorparameter)

Introductie

Stikstofverbindingen in het milieu komen onder andere voor in de vorm van ammonium (NH_4^+), nitriet (NO_2^-), nitraat (NO_3^-) en gebonden in organische stoffen (bijvoorbeeld eiwitten). Stikstof is een belangrijk nutriënt voor planten [1]. Nitriet en nitraat worden apart genoemd in wet- en regelgeving en voor die parameters is een aparte factsheet opgesteld.

Herkomst

Het menselijk lichaam produceert per dag ongeveer 4.000 mg ammonium. Ammonium komt van nature voor in lage concentraties in zowel grondwater als oppervlaktewater. In grondwater is de concentratie meestal lager dan 1 mg/l. In zeeklei, rivierklei en laagveengebieden kunnen de concentraties oplopen van 2 tot 16 mg/l als gevolg van de afbraak van organisch materiaal. RWZI's zijn speciaal gericht op het verlagen van de emissies van nutriënten inclusief ammonium, ter voorkoming van de eutrofiëring van oppervlaktewater. Hoge concentraties ammonium in het oppervlaktewater kunnen een indicatie zijn van het niet-functioneren van een RWZI of een verontreiniging met menselijke of dierlijke uitwerpselen.

In gebieden met veel veehouderij en intensieve landbouw kunnen verhoogde concentraties ammonium in het oppervlaktewater voorkomen, door de emissies naar lucht en afspoeling van dierlijke mest. Als het vluchtige ammonium vrijkomt in de atmosfeer draagt dit bij aan het verschijnsel 'zure regen'. Andere voorbeelden van de directe emissies van ammonium naar de lucht zijn bijvoorbeeld de productie van kunstmest, veevoer, vezels, plastics, explosieven, papier en rubber. Op wereldschaal is het aandeel ammonium circa 15% van het totale stikstofgehalte in de atmosfeer.

Blootstellingsroutes

Blootstelling vindt plaats door aanwezigheid in lucht en voedsel. In stedelijke gebieden is de concentratie ammoniak in de lucht circa 20 μg per m^3 . Als gevolg van de aanwezigheid van ammonium in kunstmest en veevoer kan de concentratie ammoniak in de omgeving van veehouderijen oplopen tot 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Ammonium is een natuurlijk bestanddeel in veel voedingsmiddelen. Daarnaast worden kleine hoeveelheden ammonium aan etenswaren toegevoegd als stabilisator, smaakmaker of gistingsmiddel. Uit de cementmortel die dient als de inwendige bekleding van stalen en gietijzeren drinkwaterleidingen kan ook ammonium vrijkomen. De totale dagelijkse inname van ammonium wordt geschat op 18 mg.

Gezondheidskundige betekenis

Concentraties aan ammonium zoals die zich voordoen in het Nederlandse drinkwater hebben geen effect op de gezondheid. Bij een dosis van meer dan 100 mg per kilogram lichaamsgewicht per dag kan ammoniumchloride leiden tot gezondheidsklachten, zoals verstoring van de stofwisseling en het glucosegehalte. Een concentratie van 1,5 mg/l ammonium in drinkwater kan leiden tot klachten over de geur; concentraties hoger dan 35 mg/l ammonium kunnen leiden tot smaakklachten.

Normen en richtlijnen verklaard

Ammonium dient als voedingsbron voor bacteriën en kan daardoor leiden tot ophoping van biologisch materiaal in het leidingnet (biofilm). In verband met mogelijke nagroei hanteert

Nederland een maximum waarde van 0,2 mg/l voor ammonium in het [Drinkwaterbesluit](#). Onder bepaalde omstandigheden kan in het leidingnet uit ammonium nitriet worden gevormd door ammonium oxiderende (ofwel nitrificerende) bacteriën. De aanwezigheid van nitriet is uit gezondheidskundig oogpunt ongewenst.

Omdat de aanwezigheid van ammonium in drinkwater vooral bedrijfstechnische gevolgen heeft en door de relatief lage concentraties geen gevaar voor de volksgezondheid vormt, geeft de WHO geen gezondheidskundige richtlijnwaarde. De WHO vermeldt uitsluitend dat concentraties hoger dan 1,5 mg/l ammonium aanleiding kunnen zijn voor geurbezwaren.

Volgens zowel het [Protocol monitoring & toetsing drinkwaterbedrijven KRW](#) als de [Drinkwaterregeling](#) geldt voor de parameter ammonium in oppervlaktewater dat is bedoeld voor de bereiding van drinkwater een kwaliteitseis van 1,5 mg/l ammonium.

Aanwezigheid in drinkwater(bronnen) en monitoring

Ammonium in het water van de Rijn kende vaak een overschrijding van de ERM-streefwaarde [2] van 0,3 mg/l op de meetlocatie bij Nieuwersluis, maar er lijkt sprake van een dalende trend. De gevonden meetrange was in 2019 0,09 mg/l (Andijk) tot 0,296 mg/l (Nieuwersluis), zie [3]. In de Maas werd de ERM overschreden bij Heel (0,61 mg/l, gemeten in 2019) en is de rapportage over 2019 lager bij Keizersveer (0,237 mg/l), Brakel (0,17 mg/l) en Haringvliet (0,1679 mg/l), zie [4].

Die gemiddelde concentratie in grondwater bedraagt 0,49 mg/l ammonium.

In het drinkwater in het leidingnet wordt een gemiddelde concentratie van 0,0034 mg/l aan ammonium gemeten. Op een totaal van 12.999 metingen is in 2018 tweemaal een overschrijding geconstateerd van boven 0,2 mg/l (0,29 mg/l en 0,45 mg/l).

Zuivering

Met behulp van een goed functionerend zuiveringssysteem kan ammonium optimaal uit water worden verwijderd. Ammonium kan bij (sterk) verhoogde concentraties het desinfectieproces en de verwijdering van mangaan in filters beïnvloeden, en geur- en smaakklachten veroorzaken.

Referenties

[1] World Health Organization (2017): 'Guidelines for drinking-water quality; Fourth edition incorporating the first addendum', ISBN 978-92-4-154995-0, Geneva.

<https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/254637/9789241549950-eng.pdf;jsessionid=2664217407E6F72C0DD4BA2B94E7D61B?sequence=1>

[2] ERM Coalitie (2020): 'Europees Rivierenmemorandum voor de kwalitatieve waarborging van de winning van drinkwater', rapport ISBN/EAN 978-90-6683-180-3.

<https://www.riwa-rijn.org/wp-content/uploads/2020/03/European-River-Memorandum-2020-Nederlands.pdf>

[3] RIWA Rijn (2020): 'Jaarrapport 2019; De Rijn', RIWA-Rijn, Vereniging van Rivierwaterbedrijven, Nieuwegein.

<https://www.riwa-rijn.org/wp-content/uploads/2020/09/RIWA-2020-NL-Jaarrapport-2019-De-Rijn.pdf>

[4] RIWA Maas (2020): 'Jaarrapport 2019; De Maas', RIWA-Maas, Vereniging van Rivierwaterbedrijven, Nieuwegein.

<https://www.riwa-maas.org/wp-content/uploads/2020/09/RIWA-MAAS-Jaarrapport-NL-2019-losse-paginas.pdf>

● Antibioticaresistentie

Grondslag norm: signaleringsparameter ('Overige antropogene stoffen')

Drinkwaterbesluit 2011: geen waarde

WHO: geen waarde

EG-Drinkwaterrichtlijn 1998: geen waarde

Introductie

De resistentie van sommige bacteriën tegen antibiotica is een reëel risico voor de volksgezondheid [5]. Infecties door antibioticaresistente bacteriën kunnen niet worden behandeld met het antibioticum waarvoor ze resistent zijn. Hierdoor is er minder keus uit beschikbare antibiotica bij een behandeling [5].

Het begrip antibioticaresistentie in het milieu kent drie aspecten:

- *De resistente bacteriën zelf*
Voorbeelden van antibioticaresistente bacteriën met relevantie voor de gezondheid zijn de ESBL-producerende *E. coli*, carbapenem-resistente Enterobacteriaceae (CRE) en vancomycine-resistente enterococci.
- *De genen die de bacteriën bij zich dragen en die zorgen voor de antibioticaresistentie*
Deze kunnen worden uitgewisseld met andere bacteriën, waardoor deze ook antibioticaresistent worden [2]. Dat kan bijvoorbeeld gebeuren in de biologische afvalwaterzuivering [2].
- *Resten van antibiotica*
Deze resten kunnen er ook voor zorgen dat weer nieuwe bacteriën resistent worden.

Samen worden deze drie componenten 'ABR' genoemd [1]. Het bredere begrip waarin verschillende micro-organismen (zoals ook schimmels) resistent kunnen zijn, heet antimicrobiële resistentie (AMR). In deze factsheet gaat het specifiek over ABR. Algemene informatie van het RIVM is te vinden op de webpagina <https://www.rivm.nl/antibioticaresistentie> en informatie van het RIVM over waterkwaliteit en ABR op de webpagina <https://www.rivm.nl/drinkwater/waterkwaliteit-en-antibioticaresistentie>.

Herkomst

Naast mest is afvalwater de belangrijkste bron waardoor antibioticaresistente bacteriën en antibioticaresistentie genen in het milieu belanden [1]. Afvalwater van ziekenhuizen geeft daarbij voor bepaalde resistenties de grootste bijdrage [2]. Mensen die in het buitenland besmet zijn geraakt, zijn ook een mogelijke bron van ABR in afvalwater [1]. Daarnaast worden er resten van antibiotica in het afvalwater gevonden [1]. Dit wordt uitgescheiden door mensen die deze middelen gebruiken.

Een factor die bijdraagt aan antibioticaresistentie in het milieu is als mensen hun antibioticakuur niet afmaken. Het niet afmaken van een antibioticakuur zorgt ervoor dat bacteriën die goed tegen de antibiotica kunnen, mogelijk juist wél overleven. Deze bacteriën komen daarna via het toilet in het riool terecht. Ook door het toilet spoelen van overgebleven antibiotica medicijnen of het lozen daarvan op het natuurlijk watersysteem vergroot het risico op de verspreiding van antibioticaresistentie.

Blootstellingsroutes

Mensen kunnen in principe aan resistente bacteriën in het milieu worden blootgesteld, bijvoorbeeld als zij in contact komen met water waarop gezuiverd afvalwater wordt geloosd [1]. Hoe groot de bijdrage van deze blootstelling is, is op basis van de huidige kennis nog niet goed te bepalen [1]. Naast blootstelling aan ABR via het milieu vindt blootstelling aan ABR ook via vele

andere routes plaats, zoals via direct contact met mensen of dieren, door voedselconsumptie, bij een ziekenhuisopname of tijdens een buitenlandse reis naar bijvoorbeeld Azië of Zuid-Amerika [1]. Omdat ABR via vele routes van en naar de mens kan worden overgedragen, is onderzoek naar de precieze bijdrage van alle verschillende bronnen ingewikkeld. Deze kennis zal naar verwachting ook niet binnen afzienbare tijd beschikbaar komen [1]. Vooralsnog is het dus onduidelijk hoe groot de bijdrage van de blootstelling via het milieu is ten opzichte van andere blootstellingsroutes en wat de gevolgen daarvan zijn voor de volksgezondheid [1].

Blootstelling aan ABR via het drinkwater is waarschijnlijk laag. Dat geldt zeker voor de bacteriën en genen die van het grootste belang zijn in de kliniek, omdat bacteriën verregaand worden verwijderd of gedood bij de bereiding van drinkwater.

Gezondheidskundige betekenis

Als een antibioticaresistente bacterie een ziekteverwekker is en iemand wordt ermee geïnfecteerd, kan die infectie niet meer met dat type antibiotica worden behandeld. Wanneer een bacterie resistent wordt tegen *alle* beschikbare antibiotica, wordt het voor sommige ziektes moeilijker om deze bacterie aan te pakken. Dit probleem speelt weliswaar nu al voor sommige ziekteverwekkers [5], maar niet in het werkveld van (drink)water.

Normen en richtlijnen verklaard

Er zijn geen specifieke grenswaarden voor ABR. Wel zijn er grenswaarden voor bacteriën afkomstig van fecale ontlasting zoals *E. coli* en enterococci. Hierop wordt door de drinkwaterbedrijven dan ook streng gecontroleerd.

Antibiotica (individuele stoffen) vallen onder de noemer 'overige antropogene stoffen', waarvoor een signaleringswaarde geldt van 1 µg/l. Boven deze concentratie is er niet direct een risico voor de volksgezondheid. Als de signaleringswaarde van 1 µg/l wordt overschreden in bronnen voor drinkwater dient nader onderzoek plaats te vinden overeenkomstig artikel 16a van de [Drinkwaterregeling](#). Er zijn voor lozing van antibiotica [richtwaarden](#) voorgesteld op basis van de geschatte waarden voor concentraties van antibiotica waaronder geen verdere selectie van resistentie is te verwachten. Deze liggen voor het merendeel van de antibiotica tussen de 0,08 en 1,0 µg/l, en in één geval (het middel dihydrostreptomycine) op 10 µg/l [4].

Aanwezigheid in drinkwater(bronnen) en monitoring

In oppervlaktewater varieert de gemiddelde concentratie aan antibiotica per jaar tussen lager dan de rapportagegrens en 0,03 µg/l voor middelen zoals tiamuline, lincomycine, theofylline, sulfamethoxazool, trimethoprim, clarithromycine en azithromycine. Uitsluitend het antibioticum tiamuline overschreed in 2013 de [signaleringswaarde](#) van 1 µg/l ([RIWA](#)). Dit middel wordt gebruikt als diergeneesmiddel. In grondwater varieert de gemiddelde concentratie aan antibiotica tussen lager dan de detectiegrens en 0,012 µg/l (sulfamethoxazool). De antibiotica sulfadiazine en sulfamerazine zijn recent in grondwater aangetoond in concentraties lager dan de signaleringswaarde ([REWAB](#)). Het drinkwater is onderzocht op het voorkomen van drieënveertig verschillende antibiotica. Deze antibiotica zijn in drinkwater niet aangetroffen ([REWAB](#)).

Over de aanwezigheid van bacteriën en resistentiegenen is minder bekend. In 60 – 100% van het onderzochte afvalwater zitten antibioticaresistente bacteriën, waaronder ESBL-*E. coli* en CRE [1]. Ook resistentiegenen zoals ermB en sul1 zijn in afvalwater [1] en in oppervlaktewater [3] te vinden. Er loopt onderzoek naar het voorkomen van antibioticaresistente genen in drinkwater of grondwater.

Resumerend kan worden gesteld dat er vooralsnog geen aanwijzingen zijn dat ABR voor drinkwater relevant is.

Zuivering

Mest is een belangrijke bron voor ABR. De concentraties resistente bacteriën in mest kunnen door aanvullende zuiveringstechnieken aan de bron worden verminderd. Dit zijn technieken zoals thermofiele vergisting, hygiëniseren (verhitten), compostering, verbranding, [omgekeerde osmose](#)

van de natte fractie en drogen [1]. Ongeveer 9% van de mest wordt op een van deze manieren behandeld [1].

RWZI-effluent is een andere belangrijke bron. Concentraties van (resistente) bacteriën nemen in de conventionele zuivering van rioolwater gemiddeld met een factor 100 – 1.000 af [1]. De concentraties van de onderzochte resistentiegenen namen in de zuivering ongeveer met een factor 100 af. De afname van de concentraties van antibioticaresiduen varieerde per stof. Gemiddeld wordt in het effluent 34 – 87% van de concentraties in het influent gevonden. Meer geavanceerde technieken (behandeling met actieve kool of geavanceerde oxidatie met UV en ozon en/of waterstofperoxide) worden in Nederland vooralsnog zeer beperkt ingezet (in 2017 bij 3 van de 341 RWZI's) [1]. Bij de drinkwaterbereiding zijn deze technieken gangbaarder. Daar vindt een effectieve desinfectie en verwijdering van micro-organismen plaats, die aantoonbaar wordt gemaakt in een risicoanalyse volgens het 'Richtsnoer Analyse Microbiologische Veiligheid Drinkwater (AMVD)' [6]. Omdat antibioticaresistente bacteriën in gelijke mate worden verwijderd en geïnactiveerd zoals *E. coli*, kan er vanuit worden gegaan dat de verwijdering van antibioticaresistente bacteriën ruim voldoende is. Voor de verwijdering van resistentiegenen en de mogelijkheid voor selectie of overdracht tijdens de drinkwaterbereiding of desinfectieprocessen is nader onderzoek nodig.

Het is nog niet duidelijk of in RWZI's daadwerkelijk selectie van resistentie plaatsvindt [1]. Voor enkele antibiotica liggen de concentraties in het uitgaande water van RWZI's hoger dan de concentraties, waarbij de selectie van antibioticaresistentie weliswaar is berekend [1], maar nog niet met zekerheid is vastgesteld. Voor grond- en oppervlaktewater liggen de concentraties van deze stoffen lager dan deze berekende waarden, waarmee het risico op resistentie ontwikkeling door de stoffen hier hoogstwaarschijnlijk klein is [1].

Referenties

[1] Schmitt, H. et al. (2017): 'Bronnen van antibioticaresistentie in het milieu en mogelijke maatregelen', RIVM rapport 2017-0058, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven.
<https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2017-0058.pdf>

[2] Paulus, G.K., Hornstra, L.M., Alygizakis, N., Slobodnik J., Thomaidis, N. and Medema, G. (2019): 'The impact of on-site hospital wastewater treatment on the downstream communal wastewater system in terms of antibiotics and antibiotic resistance genes', International Journal of Hygiene and Environmental Health, February 2019.
https://www.researchgate.net/publication/330907653_The_impact_of_on-site_hospital_wastewater_treatment_on_the_downstream_communal_wastewater_system_in_terms_of_antibiotics_and_antibiotic_resistance_genes

[3] Paulus, G.K., Hornstra, L.M. and Medema, G. (2020): 'International tempo-spatial study of antibiotic resistance genes across the Rhine river using newly developed multiplex qPCR assays', Science of The Total Environment, Volume 706, March 2020, 135733.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969719357286>

[4] Bengtsson-Palme, J., and Larsson, D.G.J. (2016): 'Concentrations of antibiotics predicted to select for resistant bacteria: Proposed limits for environmental regulation', Environment International, Volume 86, January 2016, pages 140 – 149.
<https://doi.org/10.1016/j.envint.2015.10.015>

[5] WHO (2020): 'Antimicrobial-resistance', factsheet, 31 July 2020.
<https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/antimicrobial-resistance>

[6] Werkgroep Infectierisico (2019): 'Richtsnoer Analyse Microbiologische Veiligheid Drinkwater (AMVD)', Inspectie Leefomgeving en Transport.
<https://www.ilent.nl/onderwerpen/drinkwater/documenten/publicaties/2020/11/27/richtsnoer-analyse-microbiologische-veiligheid-drinkwater-amvd>

● Antimoon

Grondslag norm: gezondheidkundig

Drinkwaterbesluit 2011: maximum waarde 5 µg/l

WHO: richtwaarde 20 µg/l

EG-Drinkwaterrichtlijn 1998: parameterwaarde 5 µg/l (zie ook referentie [7])

Introductie

Antimoon (een chemisch element met symbool 'Sb') komt voor in de vorm van zouten, waarbij antimoon een drie- of vijfwaardige lading heeft. Het wordt veel gebruikt in de halfgeleiderindustrie. Halfgeleiders zijn stoffen die de elektriciteit slecht of uitsluitend in bepaalde omstandigheden geleiden. In legeringen van metaal (een mengsel van een metaal met een of meer andere elementen) draagt antimoon bij aan de hardheid en sterkte van de legering [1].

Herkomst

In de natuur komt het element antimoon in kleine hoeveelheden voor. Het is dan gebonden aan sediment of bodemmateriaal, waardoor het niet snel vrijkomt. Antimoon komt vooral als gevolg van menselijke activiteit in de omgeving [3]. Vijfwaardig antimoon wordt daarnaast gebruikt als brandvertrager, braakmiddel en als geneesmiddel om bepaalde parasitaire infecties te behandelen [3, 6].

Antimoon wordt ook toegepast in de legeringen voor metalen buizen en hulpstukken voor drinkwaterleidingen [2, 4]. Door de WHO wordt dit niet als een potentieel probleem gezien, omdat de minder toxische vorm (vijfwaardig) antimoon vrijkomt [2, 3].

Blootstellingsroutes

Blootstelling aan antimoon kan plaatsvinden via inademing, huidcontact, de inname van water en de inname van voedselproducten die antimoon bevatten. De totale blootstelling vanuit de omgeving, voedsel en drinkwater is erg laag ten opzichte van werk-gerelateerde blootstelling in bijvoorbeeld de industrieën waar antimoon wordt gebruikt [2]. De blootstelling vindt daar voornamelijk plaats via inademing of huidcontact.

Gezondheidkundige betekenis

De giftigheid van antimoon is afhankelijk van de precieze vorm waarin het voorkomt en van de mate van oplosbaarheid daarvan. Over het algemeen is driewaardig antimoon giftiger dan vijfwaardig [3]. De vorm van antimoon die in drinkwater kan voorkomen als gevolg van de afgifte van bepaalde metalen uit drinkwaterleidingen is de minder giftige vijfwaardige vorm [2, 3]. Bij het beschouwen van de veilige waarde wordt daarom uitgegaan van studies aan het vijfwaardige ion [3].

Inname van hoge concentraties antimoon kan negatieve effecten hebben op het maag-darmstelsel en kan braken veroorzaken [3]. Langdurige inademing kan leiden tot oog- en longirritatie, en kan hart- en long problemen veroorzaken [3]. De concentraties in drinkwater zijn voornamelijk van het vijfwaardige ion en dermate laag dat effecten op de gezondheid niet zijn te verwachten. Er ontbreekt aanvullend bewijs dat antimoon kanker kan veroorzaken via drinken of eten.

Normen en richtlijnen verklaard

De maximale gehalten aan antimoon in bepaalde metalen buizen en hulpstukken ten behoeve van drinkwaterleidingen zijn vastgelegd in door de Nederlandse overheid voorgeschreven procedures voor producten in contact met drinkwater [4].

In een WHO-rapport aan de EU [8] is aanbevolen de waarde voor antimoon ook op Europees niveau in de revisie van de [Drinkwaterrichtlijn](#) bij te werken van 5 naar 20 µg/l op basis van de recente gezondheidkundige richtwaarden zoals in de WHO-richtlijnen [2]. De EU heeft voorgesteld de waarde van 5 µg/l te handhaven [7]. De Europese Commissie is het volgende van mening: *‘aangezien de huidige waarden al tientallen jaren van kracht zijn, de behandelingstechnieken om aan deze grenswaarden te voldoen, reeds beschikbaar zijn’* [7].

Aanwezigheid in drinkwater(bronnen) en monitoring

De concentratie antimoon in oppervlaktewater bij innamepunten voor drinkwater langs de rivieren Rijn en Maas in de jaren 2014 tot en met 2019 bedroeg gemiddeld circa 0,28 µg/l ([RIWA](#)). In grondwater nabij winputten ten behoeve van drinkwater was de gemiddelde concentratie over enkele jaren 0,01 µg/l ([REWAB](#)). In het drinkwater zelf waren de concentraties aan antimoon aanzienlijk lager: ongeveer 0,004 µg/l.

Antimoon wordt door de drinkwaterbedrijven met een door de Nederlandse overheid voorgeschreven ([Drinkwaterregeling](#)) auditfrequentie gemeten aan het tappunt. Conform de regelgeving worden de opbrengsten daarvan gerapporteerd aan de [Inspectie Leefomgeving en Transport](#) (ILT). De parameter wordt door de drinkwaterbedrijven ook gemonitord in oppervlaktewater en grondwater als bronnen voor drinkwater, in het drinkwater direct na de bereiding en in het drinkwater dat wordt gedistribueerd.

Zuivering

Bij conventionele zuiveringsprocessen ([coagulatie](#), [flocculatie](#), [sedimentatie](#), gevolgd door [langzame-zandfiltratie](#)) wordt antimoon goed verwijderd uit water [5]. Ook [ionenwisseling](#) en [omgekeerde osmose](#) zijn effectieve verwijderingstechnieken.

Referenties

- [1] Milieu en Gezondheid, Antimoon, Zware metalen.
http://www.milieu-en-gezondheid.be/sites/default/files/atoms/files/zware_metalen-antimoon_0.pdf
- [2] World Health Organization (2017): ‘Guidelines for drinking-water quality; Fourth edition incorporating the first addendum’, ISBN 978-92-4-154995-0, Geneva.
<https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/254637/9789241549950-eng.pdf;jsessionid=2664217407E6F72C0DD4BA2B94E7D61B?sequence=1>
- [3] World Health Organization (2003): ‘Antimony in Drinking-water’.
https://www.who.int/water_sanitation_health/dwg/chemicals/antimony.pdf
- [4] Goedkeuringsprocedure voor metallische materialen in met drinkwater in contact komende producten 10de herziening 19-06-2018.
<https://www.rijksoverheid.nl/binaries/rijksoverheid/documenten/regelingen/2017/11/01/commo-n-approaches-beoordeling-producten-in-contact-met-drinkwater-en-warm-tapwater/4MS+Benadering+voor+metallische+materialen+Deel+A.pdf>
- [5] Inam, M. A., R. Khan, M. Akram, S. Khan and I. T. Yeom (2019): ‘Effect of water chemistry on antimony removal by chemical coagulation: Implications of ζ-potential and size of precipitates’, International Journal of Molecular Sciences 20 (12).
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6627716/>
- [6] Agency for Toxic Substances & Disease Registry, Toxic Substances Portal – Antimony.
<https://www.atsdr.cdc.gov/toxfaqs/tf.asp?id=331&tid=58#bookmark04>
- [7] Voorstel voor een RICHTLIJN VAN HET EUROPEES PARLEMENT EN DE RAAD betreffende de kwaliteit van voor menselijke consumptie bestemd water (herschikking) (2017) https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:8c5065b2-074f-11e8-b8f5-01aa75ed71a1.0012.02/DOC_1&format=PDF
- [8] Drinking Water Parameter Cooperation Project Support to the revision of Annex I Council Directive 98/83/EC on the Quality of Water Intended for Human Consumption (Drinking Water



Directive) (2017). WHO regional office for Europe, Bonn.
https://ec.europa.eu/environment/water/water-drink/pdf/20171215_EC_project_report_final_corrected.pdf

- **AOX (adsorbeerbare organische halogeenverbindingen)**

Grondslag norm: indicator/signaleringsparameter

Drinkwaterbesluit 2011: geen maximum waarde

WHO 2022: geen richtwaarde

EU Drinkwaterrichtlijn 2020: geen parameterwaarde

Herkomst

Adsorbeerbare organische halogeenverbindingen (AOX) is de verzamelparameter voor organisch gebonden chloor, broom en jood¹, die adsorbeerbaar zijn aan actieve kool bij een vastgestelde lage pH (zuur milieu) [1]. De concentratie wordt uitgedrukt in $\mu\text{mol X/l}$, waarbij X het halogeen betekent.

De parameter meet de som van een grote groep stoffen, die varieert van natuurlijk tot antropogeen, van extreem toxisch tot onschadelijk en van klein en vluchtig tot complex [1].

Blootstellingsroutes

Gezien de grote variatie aan stoffen zijn alle mogelijke blootstellingsroutes denkbaar.

Gezondheidskundige betekenis

De parameter AOX betreft de som van gehalogeneerde organische stoffen die aan actieve kool adsorberen (uitgedrukt als chloride). Omdat er veel verschillende gehalogeneerde organische stoffen in het milieu kunnen worden aangetroffen die al dan niet gezondheidskundig van belang zijn, heeft de somparameter AOX geen eenduidige gezondheidskundige betekenis.

Normen en richtlijnen verklaard

De somparameter AOX is als signaleringsparameter in het Drinkwaterbesluit opgenomen, omdat deze somparameter relatief snel een mogelijke verontreiniging of verandering in de waterkwaliteit kan impliceren [2]. Momenteel zijn er voor dit doel betere meetmethoden zoals bioassays beschikbaar, die informatie geven over het gezondheidskundig belang van een verontreiniging en chemische screeningstechnieken die voor een brede analyse van organische stoffen in watermonsters kunnen worden gebruikt en waarbij het van veel stoffen ook mogelijk is om de identiteit vast te stellen [1].

Het Drinkwaterbesluit vermeldt geen maximum waarde, omdat er geen eenduidige betekenis aan de gemeten concentratie kan worden gegeven [2]. De WHO en de Europese Drinkwaterrichtlijn vermelden de parameter niet.

Aanwezigheid in drinkwater(bronnen) en monitoring

Volgens de Drinkwaterregeling dient de parameter AOX te worden gemeten in ruw grondwater en ruw oppervlaktewater dat is bestemd voor de bereiding van drinkwater. De parameter kent geen maximum waarde waaraan wordt getoetst en staat daarom ook niet in de ILT-rapportages. Deze parameter hoeft volgens genoemde ministeriële regeling *‘in principe slechts eenmalig gemeten te worden, teneinde een goede eerste indruk te krijgen van de kwaliteit van het drinkwater. Wordt op grond van de meetresultaten en de lokale situatie verwacht dat deze parameters in de toekomst geen norm gaan overschrijden, dan kan de inspecteur toestaan dat meting van deze parameters na deze eenmalige meting niet vereist is.’*

In REWAB zijn voor deze parameter tussen 2015 en 2020 slechts 16 metingen beschikbaar voor oppervlaktewater. AOX worden in ruw oppervlaktewater altijd aangetroffen boven de rapportagegrens. De mediaanconcentratie is tussen 2015 en 2020 $0,64 \mu\text{mol/l}$ en de maximaal

¹ Ook fluor is een halogeen, maar organische stoffen op basis van fluor waaronder PFAS geven geen of onvoldoende respons bij AOX [4].

gemeten concentraties liggen (afhankelijk van het jaar) tussen de 0,83 en 2,7 $\mu\text{mol/l}$. Voor ruw grondwater zijn 506 metingen beschikbaar. AOX wordt daar in 62% van de meetlocaties aangetroffen boven de rapportagegrens, die tussen de 0,14 en 0,2 $\mu\text{mol/l}$ ligt. De mediaanconcentratie tussen 2015 en 2020 is 0,17 $\mu\text{mol/l}$. Maxima liggen (afhankelijk van het jaar) tussen de 0,36 en 1 $\mu\text{mol/l}$.

Omdat niet bekend is welke stoffen worden gemeten, is het ook onbekend of het steeds om dezelfde stof of stoffen gaat. Als signaleringsparameter heeft AOX daarom weinig waarde meer nu er brede screeningstechnieken beschikbaar zijn die vele individuele stoffen meten. AOX wordt daarom als een verouderde parameter beschouwd [3]. Sinds de introductie van het risico-gestuurd monitoren wordt deze parameter amper nog opgenomen in de wettelijke meetprogramma's [3].

Zuivering

AOX is gedefinieerd als de som van alle organische stoffen met een of meer halogenen in de molecuulstructuur, die het vermogen hebben om zich door middel van adsorptie in een zuur milieu vast te hechten aan actieve kool [4]. Dit betekent dat deze verbindingen per definitie goed zijn te verwijderen door middel van filtratie over granulaire actieve kool of de dosering van poederkool [5]. Het betekent ook dat ze mogelijk tijdens coagulatie-flocculatie-sedimentatie gevolgd door snelfiltratie kunnen worden verwijderd, afhankelijk van hun moleculaire samenstelling.

Afhankelijk van hun molecuulgrootte zijn deze stoffen te verwijderen met behulp van omgekeerde osmose en nanofiltratie.

In het geval een stof in de molecuulstructuur een of meer dubbele bindingen bevat, zou oxidatie tot afbraak van het molecuul kunnen leiden. Daarbij moet worden aangetekend dat de halogeenbinding moeilijk is te verbreken. Dat kan eventueel wel met behulp van een hoge UV-dosis, bijvoorbeeld tijdens een geavanceerd oxidatieproces op basis van UV (niet tijdens desinfectie, daarvoor zijn de daarbij toegepaste doses te laag) [6].

Referenties

- [1] Houtman, C.J., Velzeboer, I., Slootweg, T., en Kroesbergen, J. (2015): Organische stoffen in het Drinkwaterbesluit: 2 Monitoring van 'oude stoffen'. H₂O-Online. <https://edepot.wur.nl/361416>.
- [2] Van Dijk-Looijaard, A.M. (1993). Herziening Normen Waterleidingbesluit. SWO 92.294. KIWA, Nieuwegein.
- [3] Carpentier, C.J., Wagenvoort, A.J. (2018). Evides Risico-gestuurd monitoren 2019. Onderbouwing van de risicobeoordeling volgens het Richtsnoer. TB-00395. Evides, Rotterdam.
- [4] <https://nl.wikipedia.org/wiki/AOX>
- [5] Chengrong Qin, Baojie Liu, Lingzhi Huang, Chen Liang, Cong Gao and Shuangquan Yao (2018). Adsorptive removal of adsorbable organic halogens by activated carbon. Royal Society Open Science. <https://doi.org/10.1098/rsos.181507>
- [6] Ranyun Xu, Yawei Xie, Jinping Tian, Lyujun Chen (2021). Adsorbable organic halogens in contaminated water environment: A review of sources and removal technologies. Journal of Cleaner Production, Volume 283, 10 February 2021
[Adsorbable organic halogens in contaminated water environment: A review of sources and removal technologies - ScienceDirect](#)

● Aromatische amines

Grondslag norm: indicator

Drinkwaterbesluit 2011: maximum waarde 1 µg/l ('Overige antropogene stoffen')

WHO: geen vermelding

EG-Drinkwaterrichtlijn 1998: geen vermelding

Introductie

Aromatische amines zijn een groep chemische stoffen die hoofdzakelijk worden gebruikt bij de productie van kleurstoffen en pigmenten om textiel, lederwaren en papier te kleuren, en in de rubberindustrie [1, 2]. Ook zijn er toepassingen als gewasbeschermingsmiddelen, cosmetica en medicijnen [2]. De stof aniline vormt de basis voor een grote familie van aromatische amines. Van sommige anilines is bekend dat het gaat om afbraakproducten van geregistreerde gewasbeschermingsmiddelen zoals linuron, monolinuron en 3,3-dichloorbenzidine [3].

RIVM-website risico van stoffen: <https://rvszoeksysteem.rivm.nl/stof/detail/5179>

Herkomst

Aromatische amines kunnen aanwezig zijn in water door lozingen van bedrijven die anilines toepassen bij het vervaardigen van producten of bij de synthese van verschillende chemicaliën [3].

Blootstellingsroutes

Blootstelling aan aromatische amines kan via het degraderen van kleurmiddel dat in consumentenproducten wordt gebruikt ('AZO' kleurmiddelen) [8]. Opname vindt dan voornamelijk plaats via de huid [1] of inademing. De toelating van deze groep kleurstoffen (azodyes) is beperkt onder REACH (entry 34) om direct contact uit producten met vooral de huid te vermijden. Algemene informatie over blootstelling aan aromatische amines via voeding of drinkwater ontbreekt, maar voor een beperkt aantal stoffen is de aanwezigheid aangetoond (zie onder '**Aanwezigheid in drinkwater(bronnen) en monitoring**').

In het leidingnet van de Nederlandse drinkwaterbedrijven worden op relatief beperkte schaal buizen en hulpstukken van polyester toegepast. Organische amines zijn een grondstof voor dit materiaal. Polyester buizen en hulpstukken worden daarop beoordeeld en bij een positief resultaat gecertificeerd voor drinkwatertoepassingen.

Gezondheidskundige betekenis

Veel aromatische amines kunnen een afwijking in het bloed van mensen veroorzaken (methemoglobinemie). Aniline en veel van de daarvan afgeleide stoffen zijn bekende of verdachte humane carcinogenen. Verschillende van aniline afgeleide stoffen kunnen ook huidallergieën veroorzaken [4].

Normen en richtlijnen verklaard

Voor de aromatische amines is de signaleringswaarde van toepassing (1 µg/l). Er zijn geen gezondheidkundige richtwaarden afgeleid. Melamine vormt daarop een uitzondering en voor die stof is een aparte factsheet. De signaleringswaarde van die stof is lager dan de gezondheidkundige richtwaarde die is afgeleid door het RIVM. Sommige aromatische amines zijn opgenomen op de lijst [Zeer Zorgwekkende Stoffen](#) (ZZS), zie [9].

Aanwezigheid in drinkwater(bronnen) en monitoring

Bij innamepunten voor drinkwater langs de rivieren Rijn en Maas worden drieëndertig stoffen in oppervlaktewater gemeten. Niet alle stoffen worden op alle locaties gemeten. In totaal zijn er vijf aromatische amines met een jaargemiddelde boven de detectielimiet. Dit zijn de stoffen melamine, 5-methyl-1H-benzotriazool, HMMM, 2-acetylaniline en benzotriazool. De stof melamine overschrijdt op bijna alle meetlocaties de signaleringswaarde uit de [Drinkwaterregeling](#). Voor de stof HMMM is dat uitsluitend in 2013 gebeurd ([RIWA](#)).

Bij grondwaterwinputten voor drinkwater worden negenenveertig aromatische amines gemeten. Bij in totaal zes hiervan ging het in de afgelopen tien jaar om een jaargemiddelde van ten minste boven de detectielimiet. Het ging om de stoffen 2-aminoacetofenon, 2,4-dimethylaniline, 5-methyl-1H-benzotriazool, aniline, benzotriazool en n-methylaniline. Geen van de stoffen overschrijdt de signaleringswaarde uit de [Drinkwaterregeling \(REWAB\)](#).

In het drinkwater direct na de bereiding worden veertig aromatische amines gemeten. Twee stoffen hiervan hebben in de afgelopen vijf jaar een gemiddelde gemeten waarde boven de detectiegrens: melamine en benzotriazool. Melamine overschreed in deze periode in 33% van de meetlocaties ten minste eenmaal de signaleringswaarde van 1 µg/l in het [Drinkwaterbesluit](#). De gezondheidkundige richtwaarde van 35,2 µg/l voor deze stof is niet overschreden ([REWAB](#)).

Zuivering

Over het algemeen worden aromatische amines in de zuivering vrij goed verwijderd. Dergelijke stoffen worden doorgaans goed geadsorbeerd aan actieve kool. [Actieve-koolfiltratie](#) wordt in zuiveringen van diverse drinkwaterbedrijven toegepast. De stoffen kunnen ook via [omgekeerde osmose](#) worden verwijderd. Bovendien zijn veel aromatische amines biodegradeerbaar en zullen daardoor tijdens bodempassage (duinfiltratie) en/of in zandfilters aeroob of anaeroob worden afgebroken. Aromatische amines zijn ook gevoelig zijn voor [oxidatie](#) via UV-straling. De mate van afbraak is afhankelijk van zowel de omstandigheden als de molecuulstructuur van de stof(fen) [5, 6, 7].

Referenties

- [1] International Agency for Research on Cancer
<https://cancer-code-europe.iarc.fr/index.php/nl/12-manieren/verontreinigende-stoffen/577-verontreinigende-stoffen-kader/3175-kader-nbsp-7-aromatische-amines>
- [2] https://de.wikipedia.org/wiki/Aromatische_Amine
- [3] Dijk-Looijaard, A.M. van (1993): 'Herziening Normen Waterleidingbesluit', rapport SWO 93.340, KIWA Onderzoek en Advies, Nieuwegein.
- [4] Santonen, T., Knudsen, L., and Trier, X. (2018): 'Prioritized substance group: Anilines', scoping documents, HBM4EU.
<https://www.hbm4eu.eu/wp-content/uploads/2017/04/Scoping-document-on-anilines.pdf>
- [5] Brown, D., and Laboureur, P. (1983): 'The aerobic biodegradability of primary aromatic amines', Chemosphere 12 (3), page 405 – 414.
- [6] Mohlam, F., Bakeer, W., El-Gebaly, E., and Amin M. (2018): 'Molecular characterization of aniline biodegradation by some bacterial isolates having unexpressed catechol 2,3-dioxygenase gene', Journal of Pure and Applied Microbiology 12 (4), page 2027 – 2039.
- [7] Schupp, T., Allmendinger, H., Boegi, C., Bossuyt, B. T. A. , Hidding, B., Shen, S. Tury, B., and West, R.J. (2019): 'The environmental behavior of methylene-4,4'-dianiline', Reviews of Environmental Contamination and Toxicology, 246, page 91 – 132.
- [8] Zeilmaker M.J., Kranen, H.J. van, Veen, M.P. van, and Janus, J.A. (2000): 'Cancer risk assessment of azo dyes and aromatic amines from tattoo bands, folders of paper, toys, bed clothes, watch straps and ink', report 601503 019, RIVM, Bilthoven.
<https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/601503019.pdf>
- [9] RIVM lijst van Zeer Zorgwekkende Stoffen (ZZS): uit deze groep, die in het zoekstelsel zijn opgenomen. https://rvszoekstelsel.rivm.nl/ZZSlijst/ZZSgroep/ZZS_aromatische_amines

● Arseen

Grondslag norm: gezondheidkundig

Drinkwaterbesluit 2011: maximum waarde = 10 µg/l

WHO: richtwaarde = 10 µg/l (met daarbij de vermelding dat al het mogelijke moet worden gedaan om lagere concentraties dan de richtwaarde te bereiken als de middelen daarvoor beschikbaar zijn)

EG-Drinkwaterrichtlijn 1998: parameterwaarde = 10 µg/l

N.B. De streefwaarde voor drinkwater in Nederland is 1 µg/l (zie 'Normen en richtlijnen verklaard')

Introductie

Arseen is een chemisch element met het symbool 'As' en behoort tot de groep zware metalen. Het element komt in drie vormen voor: organisch, anorganisch en gasvormig. Anorganisch arseen kan in verschillende 'oxidatietoestanden' voorkomen in het milieu [3].

Herkomst

Arseen en arseenverbindingen komen van nature wijdverspreid in de aardkorst voor, zowel in anorganische als organische vorm [3]. Concentraties in grondwater kunnen lokaal sterk zijn verhoogd door erosie van gesteenten. In gebieden met vulkanisch gesteente en veel sulfidehoudende mineralen zijn concentraties aangetroffen tot 3 mg/l. In Nederland ligt de concentratie arseen in grondwater aanzienlijk lager (zie verder hieronder). In water komt arseen meestal voor in driewaardige en vijfwaardige vorm: arsenaat (AsO_4^{3-}) respectievelijk arseniet (AsO_3^{3-}) [3]. Arseen komt wijdverspreid voor in oppervlaktewater en de concentratie in rivieren en meren is meestal lager dan 10 µg/l. In gebieden met grote natuurlijke ophopingen van mineralen en bij industrieën worden hogere concentraties waargenomen.

Arseen kan ook vóórkomen als gevolg van menselijk handelen. Arseen wordt gebruikt in de productie van legeringen voor transistors, halfgeleiders en lasers. Verder is dat het geval bij de productie van glas, pigmenten, textiel, papier, hout-verduurzamingsmiddelen en munitie. Mijnbouwactiviteiten, het smelten van metalen en het verbranden van fossiele brandstoffen zijn de belangrijkste industriële processen die bijdragen aan de verontreiniging van lucht, water en bodem met arseen. In het verleden zijn arseenhoudende bestrijdingsmiddelen gebruikt, maar deze zijn sinds 1984 verboden.

Blootstellingsroutes

De blootstelling van de mens aan arseen vindt voornamelijk plaats via voedsel en water. In principe is het voedsel de belangrijkste bron, maar in sommige gebieden op de wereld kan de concentratie in grondwater erg hoog zijn en in dat geval vormt drinkwater de belangrijkste bron. Zeer hoge concentraties in grondwater komen voor in India, Bangladesh, Mexico en China. Ook in regio's in de Verenigde Staten, Hongarije en Finland worden verhoogde concentraties arseen aangetroffen [1, 10]. De WHO heeft vastgesteld dat ten minste 140 miljoen mensen in 50 landen water drinken dat concentraties aan arseen boven de WHO-richtwaarde van 10 µg/l bevat [4].

Arseen in grond- en drinkwater komt meestal in anorganische vorm voor, terwijl het in voedsel zowel in organische als anorganische vorm aanwezig is, afhankelijk van het type voedsel [1]. De totale dagelijkse inname van arseen (anorganisch en organisch) via voedsel wordt geschat op circa 25% per dag [1], afhankelijk van het land en het type voedsel. Op locaties met meer dan 10 µg/l in het drinkwater is deze route de meest dominante vorm van blootstelling, maar vis en vlees zijn de belangrijkste bronnen voor de inname van arseen via voedsel [1]. Ook roken is een blootstellingsroute voor anorganisch arseen [4]. De dagelijkse blootstelling via inademing van lucht is in het algemeen minder dan 1 µg voor niet-rokers. Voor rokers kan dit oplopen tot 10 µg/dag.

In principe zijn de concentraties aan arseen in natuurlijke wateren en daarmee ook in drinkwater, laag. In gebieden met verhoogde concentraties arseen bevat drinkwater op sommige plaatsen in de wereld wel 100 µg/l of soms nog veel hoger. In Nederland is de gemiddelde concentratie arseen in drinkwater lager dan 5 µg/l, zie verder de informatie hieronder.

Gezondheidskundige betekenis

Bij de gezondheidskundige betekenis van arseen is onderscheid te maken tussen anorganisch en organisch arseen. De meer oplosbare anorganische arseenverbindingen zijn toxischer dan de organische verbindingen. Verder zijn de driewaardige vormen (arseniet) meer toxisch dan de vijfwaardige vormen (arsenaat).

Het inslikken van zeer hoge concentraties arseen kan acuut de dood veroorzaken. In het verleden is hier veelvuldig gebruik van gemaakt om tegenstanders of rivalen uit de weg te ruimen. 'Rattenkruit' (een verbinding van arsenicum en zuurstof) was een zeer bekend gif om ratten en muizen te bestrijden [15]. Arseen kan effect hebben op verschillende orgaansystemen, waaronder de huid en de ademhalings-, hart- en vaat-, immuun-, zenuw- en voortplantingssystemen. Lagere concentraties kunnen effecten op het maagdarmkanaal veroorzaken en zorgen voor een afname van de productie van rode en witte bloedlichamen, effecten op hart- en bloedvaten, en prikkelende sensaties in handen en voeten. Kinderen die in de baarmoeder of op jonge leeftijd worden blootgesteld aan arseen hebben mogelijk een verminderde cognitieve ontwikkeling en verhoogde mortaliteit [4]. Bij kinderen zijn effecten op het hart- en vaatsysteem waargenomen bij het gedurende meerdere jaren drinken van water met een gemiddelde concentratie van 600 µg/l [1].

Anorganische arseenverbindingen zijn door de IARC ingedeeld in klasse I: kankerverwekkend voor de mens. Langdurige inname van anorganisch arseen kan leiden tot verschillende vormen van kanker in de huid, blaas, longen en nieren. Het leidt meestal eerst tot veranderingen in de huid zoals pigmentveranderingen en verdikking. De ontwikkeling van kanker volgt pas later en treedt meestal op na meer dan 10 jaar. De relatie tussen blootstelling aan arseen en andere aandoeningen is niet eenduidig. Sommige studies melden ook hart- en vaataandoeningen, diabetes en effecten op de voortplanting. In Taiwan heeft inname van arseen via drinkwater geleid tot een ernstige ziekte van de bloedvaten in de voeten (genaamd 'black foot disease'). Deze aandoening is niet waargenomen in andere delen van de wereld en waarschijnlijk draagt ondervoeding bij aan de ontwikkeling ervan.

Voor organische arseenverbindingen zijn geen gegevens bekend over de carcinogeniteit.

Absorptie van arseen door de huid is minimaal, dus handen wassen en douchen met arseenhoudend water hebben geen gezondheidskundige effecten. Het is wel bekend dat arseen uit arseenhoudende zalf door de huid kan worden opgenomen.

Discussie bestaat over de mechanistische aspecten van de toxiciteit van arseen en de vraag of een lineaire risico-extrapolatie correct is [14] (verder beschreven hieronder).

Normen en richtlijnen verklaard

In het [Drinkwaterbesluit](#) is een maximum waarde voor arseen opgenomen van 10 µg/l. Deze waarde is gelijk aan de [WHO-richtlijn](#) [1] en de parameterwaarde uit de [Europese Drinkwaterrichtlijn](#). Door voortschrijdend inzicht heeft de WHO in 1993 een voorlopige richtlijnwaarde van 10 µg/l opgesteld, wat destijds tevens de onderste analysegrens was. De analysegrens is momenteel veel lager (circa 0,5 µg/l) en staat de maximum waarde voor drinkwater (nog steeds) ter discussie, vanwege nieuwe inzichten in de toxicologie en epidemiologisch onderzoek. [14].

De hamvraag is of deze effecten ook daadwerkelijk zijn te bevestigen met epidemiologische studies. In de jaren 2013 – 2015 is onderzoek uitgevoerd naar de effecten van een levenslange blootstelling aan lage concentraties arseen in drinkwater voor de Nederlandse situatie. Het risico op longkanker is hier genomen als meest gevoelige gezondheidskundige eindpunt [11]. Geconcludeerd werd dat op basis van gezaghebbende epidemiologische studies bij een levenslange blootstelling aan 50 µg/l arseen het risico op longkanker zou toenemen met 41% en een range van

28 – 54 µg/l als het 95% betrouwbaarheidsinterval [12, 13]. Vanuit deze studie is een kosten-baten afweging gemaakt, waarin is berekend dat het verlagen van de blootstelling onder 1 µg/l duidelijk gezondheidswinst oplevert tegen aanvaardbare maatschappelijke kosten [10]. De Nederlandse drinkwaterbedrijven hebben op basis van deze studie een streefwaarde vastgesteld van 1 µg/l, die nu het uitgangspunt vormt voor de zuivering (zie verder bij het onderdeel 'Zuivering').

Arseen (arseen en arseenverbindingen) is opgenomen op de lijst met [Zeer Zorgwekkende Stoffen](#) (ZZS).

Oppervlaktewater dat is bestemd voor de bereiding van drinkwater mag volgens de [Drinkwaterregeling](#) en het [Protocol monitoring & toetsing drinkwaterbronnen KRW](#) maximaal 20 µg/l aan arseen bevatten.

Aanwezigheid in drinkwater(bronnen) en monitoring

Arseen wordt door de Nederlandse drinkwaterbedrijven gemeten in het ruwe water (na de laatste zuiveringsstap) of aan het tappunt.

In Nederland is de gemiddelde concentratie in oppervlaktewater lager dan 2 µg/l. De gemiddelde concentratie is 1,56 µg/l. De concentratie varieert over de jaren van 1,11 – 1,94 µg/l. De gemiddelde concentratie aan arseen in het oppervlaktewater bij de meetlocaties aan de Rijn en de Maas over een periode van tien jaar is 1,17 µg/l. Het jaarlijkse gemiddelde varieert grofweg tussen de 1,0 en 1,4 µg/l. De stof overschrijdt de van toepassing zijnde grenswaarden dus niet ([RIWA](#)).

In Nederland ligt de concentratie arseen in grondwater meestal aanzienlijk lager dan 10 µg/l. In 2000 lag bij enkele grondwater-drinkwaterproductielocaties de concentratie arseen in ruwwater tussen 10 en 20 µg/l. In een opvolgende studie is de REWAB-database gebruikt en is in 2014 een gerichte meetcampagne uitgevoerd [14]. Hier is ook aandacht voor de speciatie, de verschillende vormen van arseen (As(III) en As(V)). Arseen komt vooral voor in de vorm van opgelost As(III). In het algemeen geldt overigens: 'arseen komt niet alleen', omdat arseenmobilisatie in de bodem gepaard gaat met mobilisatie van andere bestanddelen, zoals chroom [14]. De concentratie aan arseen overschrijdt in 47% van de puttenvelden voor grondwater de waarde van 1 µg/l.

In het drinkwater direct na de zuivering en in het leidingnet blijkt het te gaan om een gemiddelde concentratie van 0,4 µg/l. De maximum waarde volgens het [Drinkwaterbesluit](#) wordt dus niet overschreden ([REWAB](#)). Voor 28 locaties voldoet ook het geproduceerde drinkwater niet aan de voorlopige indicatieve streefwaarde van 1 µg/l [14].

Zuivering

Arseen in grondwater kan door [beluchting](#)/[snelfiltratie](#) worden verwijderd, eventueel in combinatie met een extra [oxidatie](#) om arseniet om te zetten in arsenaat. Conventionele zuiveringsprocessen ([coagulatie](#), [flocculatie](#) gevolgd door [sedimentatie](#) of [snelfiltratie](#)) kunnen arseen verwijderen uit oppervlaktewater tot onder de grenswaarde van 10 µg/l. Arseniet is goed wateroplosbaar en is daardoor lastig te verwijderen, terwijl arsenaat slecht wateroplosbaar is en via filtratie kan worden verwijderd. Ook [ionenwisselaars](#) en [omgekeerde osmose](#) kunnen geschikt zijn om arseen te verwijderen, maar daarbij ontstaat een regeneraat respectievelijk een concentraat met relatief hoge concentraties arseen dat niet mag worden gestort en ook niet kan worden verwerkt [8].

De Nederlandse drinkwaterbedrijven hebben zichzelf tot doel gesteld de concentraties arseen in drinkwater nog verder te verlagen tot onder 1 µg/l, omdat het bereide drinkwater niet op alle locaties voldoet [14]. Er wordt onderzoek uitgevoerd om deze waarden te realiseren. Goede resultaten zijn behaald met de toevoeging van ijzer(III) aan het influent van snelle zandfilters, eventueel in combinatie met kaliumpermangaat als oxidator [9].

Aanvullende informatie

Arseen op de RIVM-webpagina met stofgegevens: [arseen](#) | [Risico's van stoffen \(rivm.nl\)](#) [2].

Referenties

- [1] World Health Organization (2017): 'Guidelines for drinking-water quality; Fourth edition incorporating the first addendum', ISBN 978-92-4-154995-0, Geneva.
<https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/254637/9789241549950-eng.pdf;jsessionid=2664217407E6F72C0DD4BA2B94E7D61B?sequence=1>
- [2] RIVM: webpagina 'Arseen, stofgegevens' [arseen](https://www.rivm.nl/arseen) | [Risico's van stoffen \(rivm.nl\)](https://www.rivm.nl/risico)
- [3] Swartjes, F.A., Römkens, P.F.A.M., Janssen, P.J.C.M., en Brandon, E.F.A. (2018): 'Gezondheidsrisico's ten gevolge van arseen in bodem en grondwater in Apeldoorn', RIVM Rapport 2017-0198, RIVM, Bilthoven.
<https://rivm.openrepository.com/bitstream/handle/10029/622154/2017-0198.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (zie ook <https://rivm.openrepository.com/handle/10029/622154>)
- [4] WHO (2018): factsheet 'Arsenic'.
<https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/arsenic>
- [5] Ahmad, A., Richards, L.A., and Bhattacharya, P. (2017): 'Arsenic remediation of drinking water: an overview' (<https://iwaponline.com/ebooks/book/243/chapter-abstract/660546/Arsenic-remediation-of-drinking-water-an-overview?redirectedFrom=fulltext>), chapter 7 in Bhattacharya, P., Jovanovich, D. and Polya, D. (2017): 'Best Practice Guide on the Control of Arsenic in Drinking Water' (<https://iwaponline.com/ebooks/book/243/Best-Practice-Guide-on-the-Control-of-Arsenic-in>), IWA Publishing, pages 120 – 138.
- [6] Ahmad, A., Salgado Ismodes, V., Siegers, W., and Hofman-Caris, R. (2016): 'Investigating arsenic removal from water by the use of drinking water treatment residuals', Arsenic Research and Global Sustainability, Proceedings of the 6th International Congress on Arsenic in the Environment, Stockholm, CRC Press/Balkema,
<https://research.tudelft.nl/en/publications/investigating-arsenic-removal-from-water-by-the-use-of-drinking-w>
- [7] Ahmad, A., Wetering, S. van de, Groenendijk, M., and Bhattacharya, P. (2014): 'Advanced Oxidation-Coagulation-Filtration (AOCF) – An innovative treatment technology for targeting drinking water with < 1 µg/L of arsenic', Proceedings of the 5th International Congress on Arsenic in the Environment, Buenos Aires, CRC Press/Balkema.
<https://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A775117&dswid=4262>
- [8] Hofman-Caris, C. H. M., Ahmad, A., Siegers, W.G., Rahn, S., Voort, J.W., and Kolk, O. van der (2017): 'Pelletized drinking water treatment residuals for the removal of arsenic and phosphate from water', report KWR 2017.036, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.
[http://api.kwrwater.nl/uploads/2017/12/KWR-2017.036-Pelletized-drinking-water-treatment-residuals-for-the-removal-of-arsenic-and-phosphate-from-water-\(PUBLIC\).pdf](http://api.kwrwater.nl/uploads/2017/12/KWR-2017.036-Pelletized-drinking-water-treatment-residuals-for-the-removal-of-arsenic-and-phosphate-from-water-(PUBLIC).pdf)
- [9] Ahmad, A. (2017): 'Towards achieving < 1 µg/L at Katwijk, Ouddorp and Leiduin; Baseline study and batch experiments with KMnO₄ and FeCl₃ to remove arsenic', rapport KWR 2017.009, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.
<https://library.kwrwater.nl/publication/54797415/>
- [10] Ahmad, A., Wens, P. van der, Baken, K., Waal, L. de, Bhattacharya, P., Stuyfzand, P. (2020): 'Arsenic reduction to <1 µg/L in Dutch drinking water', Environment International, volume 134.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412019332532>
- [11] Wens, P. van der, Baken, K., and Schriks, M. (2016): 'Arsenic at low concentrations in Dutch drinking water: assessment of removal costs and health benefits', in: Bhattacharya, P., *et al.*, (eds.), Arsenic Research and Global Sustainability: Proceedings of the Sixth International Congress on Arsenic in the Environment (As2016), June 19 – 23 2016, Stockholm, Sweden, CRC Press, pp. 563 – 564.



[12] Ferreccio, C., Yuan, Y., Calle, J., Benítez, H., Parra, R.L., Acevedo, J., Smith, A.H., Liaw, J., and Steinmaus, C. (2013): 'Arsenic, tobacco smoke, and occupation: associations of multiple agents with lung and bladder cancer', *Epidemiology*, volume 24, number 6, pages 898 – 905.

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24036609/>

[13] National Research Council (2001): 'Arsenic in Drinking Water', The National Academies Press, Washington, DC.

<https://doi.org/10.17226/10194>.

[14] Ahmad, A., Kools, S., Schriks, M., Stuyfzand, P., and Hofs, B. (2015): 'Arsenic and chromium concentrations and their speciation in groundwater resources and drinking water supply in the Netherlands', report BTO 2015.017, KWR Water Cycle Research Institute, Nieuwegein, The Netherlands.

[15] <https://nl.wikipedia.org/wiki/Arseen>

● Asbest

Grondslag norm: n.v.t.

Drinkwaterbesluit 2011: geen maximum waarde

WHO: geen richtwaarde

EG-Drinkwaterrichtlijn 1998: geen parameterwaarde

Introductie

Asbest is een verzamelnaam voor een zestal specifieke, in de natuur gevormd gesteente met mineralen met taaie, onbrandbare vezels. Asbest was lange tijd populair als grondstof voor producten, omdat het sterk, slijtvast, flexibel en bestand is tegen hoge temperaturen. Bovendien is het een goedkoop materiaal qua winning en verwerking. Met of zonder een bindmiddel zoals cement, karton, lijm of gips werd asbest verwerkt tot een grote variatie aan producten met name in de bouw en ook als leidingmateriaal [1].

Herkomst

Asbestvezels kunnen in principe op drie manieren in drinkwater terechtkomen:

- door de natuurlijke gesteldheid van de bron (grond- of oppervlaktewater);
- door verontreiniging van de bron;
- door het vrijkomen van vezels uit asbestcement drinkwaterleidingen.

In sommige delen van de wereld zoals bepaalde gebieden in Canada, de Verenigde Staten en Europa, komt asbesthoudend gesteente voor. In dergelijke gevallen kan het oppervlaktewater tot twee miljard asbestvezels per liter bevatten. In Nederland en de ons omringende landen komt asbesthoudend gesteente niet of nauwelijks voor.

Door Nederlandse drinkwaterbedrijven gebruikte drinkwaterbronnen bevatten geen relevante concentraties asbestvezels door eventuele verontreiniging met asbesthoudend afval. Als er al asbestvezels in drinkwater in ons land voorkomen, dan zijn die vrijwel uitsluitend afkomstig uit leidingen van asbestcement en daar is regelmatig onderzoek naar gedaan (onder meer door TNO en KWR Water Research Institute).

Asbestcement drinkwaterleidingen bestaan uit een mengsel van 80% cement en 20% asbest. Een kleine 30% van het leidingnet van de Nederlandse drinkwaterbedrijven bestaat uit dit materiaal. Er bestaat wit, blauw en bruin asbest. Wit asbest is het minst gevaarlijk voor de gezondheid. Over het algemeen bestaan asbestcement drinkwaterleidingen uit wit asbest, met 10% toevoeging van blauw. Uit Duitsland geïmporteerde buizen kunnen bruin asbest bevatten, maar deze zijn nauwelijks toegepast.

Inmiddels is het produceren, op de markt brengen, invoeren, in voorraad houden, verkopen, toepassen en hergebruiken van asbesthoudende producten niet meer toegestaan [2], omdat asbest onder bepaalde omstandigheden zeer schadelijk is voor de gezondheid (zie onder). Voor het Nederlandse leidingnet voor drinkwater zijn tot 1993 asbestcement leidingen gebruikt. Momenteel zijn nog enkele tienduizenden kilometers van deze leidingen in gebruik. In 1995 was er ongeveer 37.000 km asbestcement leiding aanwezig in het drinkwaternet. In 2016 was daar nog ongeveer 30.000 km van over. De gecombineerde lengte van asbestcement leidingen in het drinkwaterleidingnet neemt sinds 1993 af met een gemiddelde snelheid van 305 km per jaar; de laatste jaren (2010 – 2016) is dit 450 km/jaar. Asbestcement leidingen worden geleidelijk vervangen door kunststof leidingen [6, 7].

Blootstellingsroutes

Er zijn talloze mogelijkheden waarop iemand in aanraking kan komen met asbest [1, 9]. De meest

relevante blootstelling aan asbest is via de lucht als gevolg van beroepsmatige activiteiten [1]. Te denken valt aan het verrichten van werkzaamheden aan asbesthoudend materiaal, blootstelling in de huiselijke omgeving (de aanwezigheid van asbesthoudend materiaal in huis) en blootstelling via lucht, voedsel en water. Asbest komt mogelijk vrij bij het afbreken of verwijderen van asbesthoudende materialen. Daarom gelden er strenge regels voor het afbreken daarvan. Het verwijderen van en werken met asbestcement (drinkwater)leidingen maakt onderdeel van de verplichte (vanuit een wettelijk kader) Arbocatalogus voor de waterbedrijven (zie [Home | Waterbedrijven \(dearbocatalogus.nl\)](https://www.darbocatalogus.nl)), waardoor de blootstelling aan asbestvezels zo veel mogelijk wordt beperkt. Eerder was daarvoor een speciaal protocol [5].

In de buitenlucht bevinden zich zo weinig vezels dat het gezondheidsrisico daarvan zeer klein is [1]. Wanneer de asbestvezels zijn gebonden aan stevige materialen kunnen die niet worden ingeademd en zijn de risico's eveneens zeer klein [1].

Voedsel dat stof, vuil of bodemresten bevat, kan waarschijnlijk asbestvezels bevatten. Volgens de WHO tonen ruwe schattingen aan dat de inname van asbest via voedsel aanmerkelijk kan zijn in vergelijking met inname via drinkwater.

Gezondheidkundige betekenis

Inademing van asbestvezels

Zolang asbest vastzit in ander materiaal is het niet gevaarlijk. Dat is wel het geval wanneer losse asbestvezels (bijvoorbeeld als gevolg van mechanische bewerking) worden ingeademd. De vezels zijn met het blote oog niet te zien, kunnen tot diep in de longen dringen en vervolgens kanker veroorzaken [8]. Langdurige blootstelling via inademing verhoogt de kans op die ziekte. Het gaat dan vooral om borst- en buikvlieskanker en longkanker. Deze vormen van kanker treden in het algemeen pas vele jaren na blootstelling op. Twintig tot veertig jaar is geen uitzondering. Daarnaast kan inademing van asbestvezels asbestose (stoflongen) veroorzaken. Asbestose komt in ons land nauwelijks voor. Denkbaar is dat bij versproeiing van het drinkwater (bijvoorbeeld tijdens koken of douchen) asbestvezels in de lucht vrijkomen. In diverse studies is deze blootstellingsroute aan de orde geweest. Hieruit kan voor de Nederlandse situatie worden geconcludeerd dat er geen sprake is van een significant verhoogd gezondheidsrisico.

Tijdens het repareren, aanboren, verwijderen en afvoeren van asbestcement-buizen, kunnen medewerkers van drinkwaterbedrijven worden blootgesteld aan vezels van asbest. Omdat hiervoor strenge veiligheidsmaatregelen zijn getroffen, levert dit geen gevaar op voor de gezondheid van betrokken medewerkers. Voor mensen die in de buurt van de werkzaamheden wonen, is er geen sprake van een verhoogd gezondheidsrisico, omdat er bij de voorgeschreven werkmethoden vrijwel geen asbestvezels vrijkomen.

Orale inname van asbestvezels

Vezels van asbest zijn niet alleen aanwezig in drinkwater, maar ook in voedsel. Voor zover nu bekend, vormen die vezels geen gevaar voor de gezondheid [1, 6]. Onder andere de WHO concludeerde dit in 1993 na het evalueren van de opbrengsten van onderzoek, uitgevoerd in zowel het laboratorium als onder de bevolking [4]. De Wereldgezondheidsorganisatie meldt dat de theorie dat orale inname van asbest in drinkwater leidt tot een verhoogd risico op tumoren in het maagdarmkanaal, niet kan worden onderbouwd door beschikbare epidemiologische studies. Bovendien is uit dierproeven gebleken dat orale inname van asbest niet leidt tot een verhoogd risico op kanker in het maagdarmkanaal. Ook de Gezondheidsraad is van mening dat er geen oorzakelijk verband is tussen het innemen van asbestvezels via drinkwater en het optreden van kanker.

In een RIVM-rapport [8] wordt daarnaast beschreven dat voor kanker aan het slokdarmhoofd (farynx), maag en darm het bewijs voor de relatie met inslikken te beperkt is. De studies hiernaar geven geen eenduidig beeld [6]: *'De huidige stand van kennis over blootstelling en gezondheidsaspecten ondersteunt de aanname dat blootstelling aan asbestvezels via drinkwater (oraal, inhalatoir en dermaal) in de Nederlandse praktijk nauwelijks een risico vormt voor de gezondheid.'*

Normen en richtlijnen verklaard

De WHO heeft geen richtlijn vastgesteld voor asbest in drinkwater, omdat na het innemen van asbestvezels via drinkwater geen schadelijke gezondheidskundige gevolgen heeft. Het RIVM heeft in haar Basisdocument Asbest [9] eveneens geen grenswaarde voorgesteld voor asbest in voedsel en drinkwater. In het [Drinkwaterbesluit](#) is ook geen maximum waarde voor asbest in drinkwater vastgelegd. In 2020 is door de minister naar aanleiding van vragen in de Tweede Kamer gesteld dat onderzoek naar een grenswaarde niet zinvol lijkt [7].

De EPA heeft in 1998 wel een richtwaarde afgeleid van 7 miljoen vezels per liter water, voor vezels groter dan 10 µm. Dit is de concentratie waarbij één extra geval van kanker op de miljoen mensen voorkomt. Deze waarde wordt nooit overschreden in de meetrondes die na 1999 zijn gehouden (zie onder).

Voor de bronnen van drinkwater bestaan geen grenswaarden.

Asbest is opgenomen op de lijst [Zeer Zorgwekkende Stoffen](#) (ZZS), minerale vezels. Deze lijst is bedoeld als een hulpmiddel voor bedrijven en vergunningverleners en heeft als doel de risico's voor mens en milieu te beperken.

Aanwezigheid van asbestvezels in drinkwater(bronnen) en monitoring

In vergelijking met bepaalde gebieden in Canada, de Verenigde Staten en Europa heeft Nederland lage concentraties asbest in het oppervlaktewater. Het is niet waarschijnlijk dat asbest aanwezig is in grondwater, omdat zand als een natuurlijk filter werkt voor asbest. Er zijn geen aanwijzingen dat de door de Nederlandse drinkwaterbedrijven gebruikte bronnen relevante concentraties asbestvezels bevatten door eventuele verontreinigingen met asbesthoudend afval.

De Nederlandse drinkwaterbedrijven zijn niet verplicht tot het uitvoeren van metingen van asbestvezels in drinkwater. Toch voeren zij uit voorzorg geregeld gerichte metingen uit om concentraties van asbestvezels in drinkwater in kaart te brengen. Sinds 1999 zijn vijf meetprogramma's uitgevoerd en samengevat in een overzicht [6]. Uit de metingen van na 1999 zijn concentraties aan asbestvezels vastgesteld die in de meeste gevallen lager zijn dan 1.000 vezels per liter, met een hoogst vastgestelde concentratie van 13.000 vezels per liter. De huidige vastgestelde concentraties zijn aanzienlijk lager dan de concentraties die zijn vastgesteld in de jaren zeventig van de vorige eeuw. Een mogelijke verklaring voor de afname in vezelconcentraties is het op grote schaal conditioneren van het Nederlandse drinkwater [6, 7].

Zuivering

Asbestvezels kunnen via filtratie worden verwijderd. Geoptimaliseerde dubbellaagsfilters ([langzame-zandfiltratie](#) of [snelfiltratie](#)) kunnen van nature in water voorkomende asbestvezels vaak redelijk tot /goed verwijderen [3]. [Membraanfiltratie](#) zou ook een optie kunnen zijn, maar dit is nog niet goed onderzocht.

Referenties

[1] RIVM: 'Wat is asbest?', webpagina.

<https://www.infomil.nl/onderwerpen/asbest/asbest/>

[2] diverse Ministeries (2008): 'Productenbesluit asbest', 1 juni 2008, Den Haag.

<https://wetten.overheid.nl/BWBR0017778/2008-06-01>

[3] McGuire, M. J., Bowers, A.E., and Bowers, D.A. (1983): 'Optimizing large-scale water treatment plants for asbestos-fiber removal', Journal (American Water Works Association), volume 75, number 7, pages 364 – 370.

<https://www.jstor.org/stable/41271729>

[4] WHO (2003): 'Asbestos in Drinking-water; Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality', WHO, Geneva.

https://www.who.int/water_sanitation_health/water-quality/guidelines/chemicals/asbestos.pdf?ua=1

[5] Samenwerkingsverband (2010): 'Veilig werken met asbestcementleidingen; in het ondergrondse openbare waterleiding-, gas- en rioolafvalwaternet', het '[Rode Boekje](#)', Leiderdorp. https://www.publicspaceinfo.nl/media/uploads/files/KIWA_2010_0002.pdf

[6] Summeren, J. van, en Dingemans, M. (2019): 'Overzicht van feiten rond asbestvezels in drinkwater', rapport BTO 2019.207(s), KWR Water Research Institute, Nieuwegein (vertrouwelijk).

[7] H2O Actueel (2020): 'Van Nieuwenhuizen: geen norm voor asbestvezels in drinkwater', <https://www.h2owaternetwerk.nl/h2o-actueel/van-nieuwenhuizen-geen-norm-voor-asbestvezels-in-drinkwater> als antwoord op vragen van het Kamer lid Laçin over asbest in drinkwater (24-8-2020), zie <https://www.tweedekamer.nl/kamerstukken/kamervragen/detail?id=2020D32276&did=2020D32276>

[8] Eysink, P.E.D., Hulshof, T.A., en Poos, M.J.J.C. (2017): 'Gezondheidseffecten van asbest; Huidige en toekomstige omvang in Nederland', RIVM Rapport 2017-0194, RIVM, Bilthoven. <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2017-0194.pdf>

[9] Slooff, W., Blokzijl, P.J., Dijk-Looyaard, A.M. van, Heijden, C.A. van der, Heijna-Merkus, E. *et al.* (1987): 'Basisdocument Asbest', RIVM-rapport 758473006, RIVM, Bilthoven. <https://www.rivm.nl/publicaties/basisdocument-asbest>

● Bacteriën van de coligroep

Grondslag norm: bedrijfstechnisch

Drinkwaterbesluit 2011: maximum waarde 0 kve/100 ml

WHO 2017: geen richtwaarde

Europese Drinkwaterrichtlijn 2020: parameterwaarde 0 kve/100 ml

Herkomst

De bacteriën van de coligroep zijn een subgroep van de Enterobacteriaceae en bevatten onder andere de genera *Escherichia*, *Citrobacter*, *Enterobacter*, *Klebsiella*, *Serratia* en *Hafnia* (1). Het omvat de Gram-negatieve, aerobe en facultatief anaerobe, oxidase negatieve, staafvormige, niet-sporevormende bacteriën, die in staat zijn lactose te vergisten bij 35 – 37°C binnen 24 – 48 uur onder vorming van zuur en aldehyde (1, 2). De bacteriën van de coligroep komen voor bij mens en dier, maar ook in het milieu in bodem en water. De groep is erg heterogeen en bevat bacteriën die specifiek van fecale origine kunnen zijn (bijvoorbeeld *Escherichia coli*), bacteriën die zowel in feces als in het milieu (plantenresten, bodem, nutriëntrijk (drink)water) kunnen voorkomen (bijvoorbeeld *Enterobacter cloacae*, *Citrobacter freundii*) en zelfs bacteriën die in het geheel niet voorkomen in feces, maar zich wel kunnen vermeerderen in nutriëntrijk drinkwater (bijvoorbeeld *Buttiauxella izardii*) (3).

Medio april 2020 is het gebruik van de MALDI-TOF methode als alternatieve bevestigingsmethode bij de bepaling van onder andere bacteriën van de coligroep goedgekeurd. Met de MALDI-TOF methode kunnen bacteriën snel worden getypeerd tot op genusniveau [4].

Blootstellingsroutes

Bacteriën van de coligroep zijn alom aanwezig in onze leefomgeving. Mensen worden voortdurend blootgesteld aan bacteriën uit deze groep.

Gezondheidkundige betekenis

De gezondheidkundige betekenis van de bacteriën van coligroep in drinkwater is gering. Het bestaan van bacteriën die weliswaar aan de definitie voor bacteriën van de coligroep voldoen maar die niet van fecale origine zijn, beperkt de bruikbaarheid van deze parameter als indicator voor fecale verontreiniging. Als er meer aanwijzingen worden gevonden die wijzen op een mogelijk (recente) fecale verontreiniging is dit aanleiding om een kookadvies te geven. In het geval de oorsprong niet een recente fecale verontreiniging is, is een kookadvies niet nodig. Wel wordt de aanbeveling gedaan deze bron uit te schakelen, omdat het een ongewenste situatie betreft (3).

Soms worden bacteriën van de coligroep gebruikt ter beoordeling van de reinheid en integriteit van het leidingnet. Daar zijn echter betere methodes voor zoals de bepaling van het koloniegetal bij 22°C, die in het Drinkwaterbesluit is opgenomen. Alternatieve mogelijkheden zijn ATP en flow cytometrie (FCM), die beide een parameter zijn voor het totaal aantal bacteriën. ATP en FCM maken geen onderdeel uit van de Nederlandse wet- en regelgeving voor drinkwater.

Omdat bacteriën van de coligroep niet specifiek op een fecale verontreiniging duiden, betekent het aantreffen van uitsluitend deze bacteriën niet dat er een acuut gezondheidsrisico is. Er is wel sprake van een ongewenste situatie (zie volgende onderdeel).

Normen en richtlijnen verklaard

Aanwezigheid van bacteriën van de coligroep in drinkwater in afwezigheid van *E. coli* en intestinale enterococci is indicatief voor onvoldoende verwijdering in de zuivering, nagroei in het leidingnet door aanwezigheid van voldoende nutriënten of een verontreiniging van het leidingnet met plantenresten of grond na bijvoorbeeld een leidingbreuk of reparatie (5). Dit betekent dat

(ondanks dat bacteriën van de coligroep niet altijd zijn gekoppeld aan een fecale verontreiniging) hun aanwezigheid in alle gevallen een aanwijzing is voor een vanuit hygiënisch oogpunt ongewenste situatie. De grondslag van de parameter is gezien het bovenstaande bedrijfstechnisch.

Aanwezigheid in drinkwater(bronnen) en monitoring

De bacteriën van de coligroepen dienen volgens het Drinkwaterbesluit zowel aan het tappunt als in het ruwe water te worden gemeten. De concentratie aan bacteriën van de coligroepen wordt uitgedrukt in 'kve', kolonievormende eenheden.

Tussen 2015 en 2020 zijn bacteriën van de coligroep in ruw oppervlaktewater over de jaren gemiddeld in 97% van de gerapporteerde winpunten aangetroffen. De mediaanconcentratie is 338 kve/100 ml en de gemeten maxima liggen in de periode 2015 – 2020 tussen de 9.300 en 89.000 kve/100 ml. Tussen 2015 en 2020 worden bacteriën van de coligroep in ruw grondwater over de jaren gemiddeld in 5,7% van de gerapporteerde winpunten aangetroffen. De mediaanconcentratie ligt op 0,7 kve/100 ml en het maximum gemeten concentratie ligt tussen de 3 en 19 kve/100 ml.

Tussen 2015 en 2020 zijn bacteriën van de coligroep aan het tappunt over de jaren gemiddeld in 52,5% van de gerapporteerde locaties aangetroffen. Er is geen trend in dit percentage. De mediaanconcentratie is 0,7 kve/100 ml en de maximum gemeten concentraties over de jaren liggen tussen de 380 en 1.600 kve/100 ml.

Zuivering

Alle gebruikelijke desinfectiemethoden (UV- en ozondesinfectie, en natriumhypochloriet-oplossing) zijn effectief voor de verwijdering van bacteriën van de coligroep.

Referenties

- [1] World Health Organization (2022): Guidelines for drinking-water quality; Fourth edition incorporating the first and second addenda. WHO, Genève.
- [2] Meschke, J.S. and Girones, R. (eds), Part 3: Specific Excreted Pathogens: Environmental and Epidemiology Aspects - Section 1: Viruses. In: Rose, B. and Jiménez-Cisneros, B. (eds) (2021). Water and Sanitation for the 21st Century: Health and Microbiological Aspects of Excreta and Wastewater Management (Global Water Pathogen Project). Michigan State University, E. Lansing, MI, UNESCO.
<https://doi.org/10.14321/waterpathogens.11>
- [3] Meerkerk, M.A. (red.) (2020): Hygiëncode drinkwater. Deel 1: Algemeen. KWR | PCD 1-1. KWR Water Research Institute, Nieuwegein.
- [4] Vissers, L., Taucer-Kapteijn, M. (2019): Bevestiging van bacteriekolonies geïsoleerd uit drinkwater met behulp van MALDI-TOF; validatie volgens ISO 16140-6. Validatierapport MI.M2019.015/LV. Aqualab Zuid, Werkendam.
- [5] Schoenen, D. (2011): Mikrobiologie des Trinkwassers. Oldenbourg Industrieverlag. München.

● Bacteriofagen

Grondslag norm: gezondheidkundig

Drinkwaterbesluit 2011: geen norm; bacteriofagen worden gebruikt bij het opstellen van de microbiologische risicoanalyse om te bepalen of voldaan wordt aan het 10^{-4} -infectierisico

WHO 2022: geen richtwaarde, maar kan gebruikt worden als indicator voor pathogene virussen

Europese Drinkwaterrichtlijn 2020: somatische colifagen in het ruwe water referentiewaarde 50 pve/100 ml (plaquevormende eenheden). Moet worden gemeten indien risicobeoordeling aangeeft dat dit passend is.

Herkomst

Bacteriofagen (kortweg fagen) zijn virussen die bacteriën als gastheer gebruiken om zich te vermenigvuldigen. Het zijn de 'natuurlijke' vijanden van bacteriën. Ze zijn alomtegenwoordig in de hele biosfeer. Ze worden overal aangetroffen waar bacteriën aanwezig zijn, vooral in uitwerpselen, grond en rioolwater. In een milliliter zeewater zitten bijna 50 miljoen bacteriofagen [1]. Ook de mens draagt vele bacteriofagen met zich mee, bijvoorbeeld op de huid en in het darmstelsel [2].

Het Drinkwaterbesluit [6] vermeldt dat tot de groep van bacteriofagen in elk geval de somatische colifagen en de F-specifieke bacteriofagen dienen te worden gerekend.

Somatische colifagen zijn virussen die *Escherichia coli* en andere nauw verwante bacteriën als gastheer gebruiken [3]. 'Somatisch' betekent letterlijk 'lichamelijk' en slaat op de hechtingsplaats van de bacteriofaag op de bacteriecelwand. Deze colifagen hechten aan receptoren, die altijd aanwezig zijn op de bacteriecelwand. Ze vermenigvuldigen zich met name in het maagdarmstelsel van warmbloedige dieren, maar kunnen zich ook in het milieu vermenigvuldigen. Er zijn heel veel soorten somatische colifagen met een grote variatie aan vormen [3, 10]. Morfologisch gezien lijken somatische colifagen enigszins op de pathogene adenovirussen [10]. Somatische colifagen komen frequent voor in humane en dierlijke feces ($1 \times 10^1 - 10^8$ pve per gram), rioolwater ($1 \times 10^1 - 10^5$ pve per ml) [9, 10] en oppervlaktewater ($1 \times 10^0 - 10 \times 10^2$ pve per ml [4, 10]). In grondwater komen somatische colifagen en F-specifieke bacteriofagen minder vaak voor.

F-specifieke bacteriofagen (ook F-RNA colifagen genoemd) hechten uitsluitend op de zogenaamde F-uitsteeksels (pili) van *Escherichia coli*. Deze F-pili worden uitsluitend gemaakt door bacteriën die het vruchtbaarheids-plasmide bevatten (F = Fertility = vruchtbaarheid) en worden uitsluitend geproduceerd in de logaritmische groeifase bij een temperatuur boven de 30°C . Groei van F-specifieke bacteriofagen buiten het maagdarmstelsel van warmbloedige dieren is erg onwaarschijnlijk [3, 10]. Morfologisch gezien lijken F-specifieke bacteriofagen onder andere op de pathogene virussen enterovirussen en hepatitis A en E virussen [10]. F-specifieke bacteriofagen komen regelmatig voor in humane en dierlijke feces ($<1 - 1 \times 10^6$ pve/gram) en rioolwater ($1 \times 10^1 - 1 \times 10^5$ pve/ml) [9].

Blootstellingsroutes

De blootstelling aan de betreffende bacteriofagen is niet relevant, omdat deze niet pathogeen zijn voor de mens.

Gezondheidkundige betekenis

De gezondheidkundige betekenis van bacteriofagen zelf is nihil. Bacteriofagen hebben echter veel overeenkomende kenmerken met humane, pathogene virussen en zijn in hogere aantallen in onbehandeld water aanwezig. Daardoor worden bacteriofagen gebruikt als indicator voor de aanwezigheid van pathogene virussen en de verwijdering van pathogene virussen bij bepaalde stappen van de bereiding van drinkwater [3]. Als bacteriofagen in drinkwater worden aangetroffen, wordt aangenomen dat er een fecale besmetting van het drinkwater is geweest of dat pathogene virussen niet goed (genoeg) zijn verwijderd of gedesinfecteerd in de zuivering.

Pathogene virussen worden soms wel nog aangetroffen als er geen bacteriofagen worden gedetecteerd [3]. Daarnaast is de hoogte van het aantal aangetroffen bacteriofagen niet recht evenredig met het aantal aanwezige (entero)virussen, onder meer omdat bacteriofagen meestal minder gevoelig zijn voor desinfectie (chloor, UV) en verwijderingsprocessen dan (entero)virussen [10, 11].

Normen en richtlijnen verklaard

Het Drinkwaterbesluit [6] noemt de bacteriofagen in verband met de risicoanalyse van de 'Algemene Microbiologische Veiligheid van Drinkwater' (AMVD), omdat die een indicator zijn voor de aanwezigheid van virussen. Ook de WHO beschouwt de bacteriofagen als zodanig en geeft geen richtlijn [3].

Volgens de Europese Drinkwaterrichtlijn moet een risicobeoordeling van het watervoorzieningssysteem vanaf het onttrekkingsgebied, over de behandeling en de opslag tot en met de distributie worden opgesteld. Die risicobeoordeling vormt de basis van het monitoringsprogramma en omvat ook de monitoring van de parameter somatische colifagen. Deze parameter moet worden gemeten als de risicobeoordeling aangeeft dat dit passend is. Als deze parameter in onbehandeld water wordt aangetroffen in een concentratie > 50 pfu/100 ml dan moeten de zuiveringsstappen worden geanalyseerd om te beoordelen of het risico op doorbraak van pathogene virussen voldoende wordt beheerst.

Aanwezigheid in drinkwater(bronnen) en monitoring

Volgens de Drinkwaterregeling [7] en de Europese Drinkwaterrichtlijn [8] is er een meetverplichting voor het ruwe water indien er een risicoanalyse voor de microbiologische veiligheid van drinkwater dient te worden uitgevoerd.

Somatische en F-specifieke bacteriofagen worden in hoge aantallen (tot 100.000 pve/l) in oppervlaktewater aangetroffen [3]. Somatische colifagen worden in vergelijking met andere, voor drinkwater relevante, bacteriofagen (F-specifieke fagen en *Bacteroides*) in de hoogste dichtheden in Nederlandse oppervlaktewateren gevonden [4].

In ruw oppervlaktewater zijn bacteriofagen uitsluitend in 2020 op vijf winpunten gemeten. Bij drie hiervan werden bacteriofagen aangetroffen. De rapportagegrens is 8 pve/l. De mediaanconcentratie van alle winpunten is 14 pve/l. Het gemeten maximum is 220 pve/l. In ruw grondwater werden in 2015 – 2018 bacteriofagen gemeten door een enkel bedrijf. Uitsluitend in 2017 werden hier bacteriofagen aangetroffen en wel in 22% van de (9) gerapporteerde winpunten dat jaar. De rapportagegrens was hier 0,007 – 0,1 pve/l. Het maximum gemeten was 7 pve/l.

In drinkwater zijn bacteriofagen niet aangetoond.

Zuivering

De verwijdering van bacteriofagen 'an sich' is irrelevant. Als indicator om de verwijdering van de verschillende zuiveringsstappen voor virussen te bepalen, zijn bacteriofagen wel relevant. Zij komen vaak in grotere aantallen voor dan virussen en hebben redelijk vergelijkbare morfologische en fysisch-chemische eigenschappen, bijvoorbeeld voor wat betreft structuur, grootte en lading [4, 10]. Zo zijn somatische colifagen een goede indicator voor adenovirus-desinfectie met UV en F-specifieke fagen (MS2) een goede indicator voor adenovirus-desinfectie met chloordioxide [5], maar voor andere (entero)virussen kan dit anders zijn.

Zie verder de factsheet (entero)virussen.

Referenties

[1] [Bacteriophage – Wikipedia](#)

[2] <https://www.rivm.nl/bacteriofagen>.

[3] World Health Organization (2022): Guidelines for drinking-water quality; Fourth edition incorporating the first and second addenda. WHO, Genève.

- [4] Rutjes, S.A., de Roda Husman, A.M. (2004): Procedure voor virusdetectie in water ten behoeve van het Nederlandse Waterleidingbesluit 2001. Rapport 330000007/2004. RIVM, Bilthoven.
- [5] Schijven, J., Teunis, P., Suylen, T., Ketelaars, H., Hornstra, L. (2019): QMRA of adenovirus in drinking water at a drinking water treatment plant using UV and chlorine dioxide disinfection. *Water Res.* 158, 13-45.
- [6] Drinkwaterbesluit
- [7] Drinkwaterregeling
- [8] Europese Drinkwaterrichtlijn
- [9] Farnleitner, A. and Blanch, A. (eds), Part 2: General and host-associated bacteriophage indicators of faecal pollution. In: Rose, B. and Jiménez-Cisneros, B. (eds) (2021). *Water and Sanitation for the 21st Century: Health and Microbiological Aspects of Excreta and Wastewater Management (Global Water Pathogen Project)*. Michigan State University, E. Lansing, MI, UNESCO. <https://doi.org/10.14321/waterpathogens.11>
- [10] Lamy, M.C., Sanseverino, i., Niegowska, M., Lettieri, T. (2020): Microbiological Parameters under the Drinking Water Directive - Current state of art on somatic coliphages and *Clostridium perfringens* and spores. JRC118219. European Union, Luxembourg. doi/10.2760/005492
- [11] EPA Office of Water Office of Science and Technology Health and Ecological Criteria Division (2015): Review of coliphages as possible indicators of fecal contamination for ambient water quality. 820-R-15-098.

● Benzeen en andere monocyclische koolwaterstoffen/aromaten

Benzeen:

Grondslag norm: gezondheidkundig

Drinkwaterbesluit 2011: maximum waarde 1 µg/L

WHO 2017: richtwaarde 10 µg/L

Europese Drinkwaterrichtlijn 2020: parameterwaarde 1 µg/L

Monocyclische koolwaterstoffen/aromaten:

Grondslag norm: voorzorg

Drinkwaterbesluit 2011: signaleringswaarde 1 µg/L

WHO 2017: geen richtwaarde voor de gehele groep

Europese Drinkwaterrichtlijn 2020: geen vermelding

Herkomst

Benzeen is een bijzonder stabiele organische koolwaterstofverbinding met 6 koolstofatomen die een ring vormen. Het is een van de bekendste vertegenwoordigers van de koolwaterstoffen met een ringstructuur, de aromatische verbindingen [1]. Dit in tegenstelling tot de koolwaterstoffen die een lineaire structuur hebben, de alifatische koolwaterstoffen.

Benzeen wordt gebruikt als oplosmiddel en als grondstof bij de productie van organische chemicaliën zoals nitrobenzeen, styreen, fenol en aniline en kunststoffen zoals polystyreen en polyester. Het gebruik van benzeen is nog maar beperkt toegestaan en er moeten strenge veiligheidsregels bij in acht worden genomen. Benzeen werd in het verleden ook als bestanddeel in benzine toegepast wat tot grote emissies leidde, maar moderne benzine bevat weinig tot geen benzeen [1]. Benzeen zit ook in sigaretten [2]. Benzeenverbindingen kunnen worden gebruikt in zonnebrandcrèmes, omdat ze zonwerende eigenschappen hebben. Het gebruik van benzeen in consumentenproducten is de laatste jaren sterk afgenomen [1].

Benzeen kan in het water terecht komen door lozingen vanuit de industrie of schepen, met name binnenvaarttankers die varend hun tanks schoonmaken (ontgassen) [3] en door atmosferische depositie [1].

De emissie van benzeen naar oppervlaktewater is laag; slechts ongeveer 5% van de emissie van benzeen is naar lucht. Benzeen in de lucht is hoofdzakelijk afkomstig van de uitstoot door het wegverkeer. Andere bronnen zijn houtkachels en open haarden. Ruim de helft van het benzeen in de lucht is afkomstig uit het buitenland [4].

Monocyclische koolwaterstoffen hebben één benzeenring in hun molecuulstructuur. Het zijn vluchtige, brandbare, kleurloze vloeistoffen die worden gebruikt als oplosmiddel en als grondstof in de chemische industrie. Ook worden monocyclische koolwaterstoffen toegepast in de verfindustrie, bij de productie van plastics en in insecticiden.

Enkele bekende monocyclische koolwaterstoffen zijn xylenen (= dimethylbenzenen), tolueen (= methylbenzeen) en ethylbenzeen.

Xylenen worden voornamelijk toegepast als oplosmiddel voor producten op basis van organische stoffen (harsen, verf en vetten) en worden gebruikt bij de productie van PET flessen [5].

Tolueen wordt veel gebruikt in plaats van het kankerverwekkende benzeen, onder andere als verdunningsmiddel en als grondstof in de chemie. Tolueen is het belangrijkste bestanddeel van

het oplosmiddel thinner. Het is ook een onderdeel van benzine en wordt gebruikt als oplosmiddel in bandenplakmiddel. Bij het gebruik van solutie (lijm voor het plakken van banden) bij lijmsnuiten als vorm van drugsgebruik is toluene de werkzame stof. Trinitrotoluene (beter bekend als TNT) is een stof die uit toluene wordt gemaakt. De stof is een krachtig explosief, net zoals vele andere genitreeerde verbindingen. TNT wordt als referentiekader voor andere explosieve wapens gebruikt: de kracht van een kernwapen wordt bijvoorbeeld uitgedrukt in megaton TNT [6].

Ethylbenzeen (wereldwijd meer dan 20 miljoen ton per jaar) wordt voornamelijk gebruikt als grondstof voor styreen, een belangrijke bouwsteen van veel soorten polymere kunststoffen.

Verder wordt het gebruikt in brandstoffen, oplosmiddelen en asfalt [7].

Uitlaatgassen vormen een belangrijke bron van emissies van toluene naar het milieu. Daarnaast kunnen monocyclische koolwaterstoffen in het milieu terecht komen vanuit de industrie en door atmosferische depositie.

In grond en grondwater worden ze aangetroffen op plekken waar eerder benzinestations, verf- of gasfabrieken of drukkerijen en drukinktfabrieken stonden.

Blootstellingsroutes

Blootstelling aan benzeen en monocyclische aromatisch koolwaterstoffen vindt voornamelijk plaats via de lucht [16]. Deze referentie stelt daarover verder het volgende.

Op basis van de beschikbare gegevens over benzeen in de lucht heeft de WHO een risicoschatting gemaakt. Het verwaarloosbaar risico (de concentratie in de lucht waarbij de extra kans op kanker bij levenslange blootstelling 1 op de miljoen is) ligt bij een concentratie van $0,17 \mu\text{g}/\text{m}^3$ benzeen. Het maximaal toelaatbaar risico (een extra kans op kanker bij levenslange blootstelling van 1 op de 100.000) is bepaald op een niveau van $1,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ [8]. In Nederland ligt de concentratie benzeen in de buitenlucht regionaal gemiddeld rond de $0,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in het noorden en rond de $0,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in het zuiden. In de steden ligt de concentratie rond de $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Alleen zeer lokaal wordt het maximaal toelaatbaar risico overschreden [9].

Binnenshuis kan blootstelling aan benzeen worden veroorzaakt door sigarettenrook. De beroepsmatige blootstelling aan benzeen kan soms hoog zijn, met name bij tankwagenchauffeurs en tankschip-bemanningen.

Benzeen kan van nature in voedsel voorkomen, maar ook door verontreiniging vanuit het milieu. Voedingsmiddelen waarin benzeen is aangetoond, zijn onder andere eieren, vlees, kaas en vruchten [10]. Er bestaan verschillende mogelijke bronnen van benzeen in voeding. Benzeen kan worden gevormd uit benzoëzuur in aanwezigheid van ascorbinezuur (vitamine C). Benzoëzuur wordt aan verschillende voedingsproducten toegevoegd als conserveermiddel en ascorbinezuur kan als natuurlijke stof of als voedingsadditief aanwezig zijn. Benzeen kan ook in voeding terecht komen vanuit verpakkingsmaterialen of vanuit de omgeving waarin het wordt opgeslagen, of worden gevormd tijdens bestralingsprocessen. Contaminaties met benzeen in voeding werden meer dan 10 jaar geleden in de VS al vastgesteld in frisdranken en softdrinks. In deze dranken werden concentraties hoger dan $1 \mu\text{g}/\text{L}$ gevonden. Voorlopig zijn er nog maar weinig gegevens over de aanwezigheid van benzeen in verhoogde concentraties in andere voedingsmiddelen. Wel toont recente literatuur aan dat benzeen werd gevonden in wortelsap voor kinderen. Dit zou zijn te wijten aan de warmtebehandeling die deze producten ondergaan om microbiologische contaminatie uit te sluiten. Een systematische studie van de blootstelling aan benzeen in de menselijke voedingsketen is momenteel nog niet beschikbaar, maar het onderzoek is wel aan de gang. Er zijn nog geen aanwijzingen dat de volksgezondheid van de consument in gevaar komt door de aanwezigheid van benzeen in voeding [11].

De totale blootstelling aan benzeen via verschillende routes, kan aanzienlijk variëren. Voor niet-rokers is de geschatte dagelijkse inname 200 – 450 μg . Voor rokers ligt de inname een factor twee tot drie hoger [10]. Opgenomen benzeen wordt voor een deel weer via de longen uitgeademd [1].

De dagelijkse inname van de diverse monocyclische koolwaterstoffen varieert per individuele stof. Voor toluene zijn er weinig of geen gegevens beschikbaar over de concentraties in voedselproducten in Nederland. De inname via voedsel en drinkwater wordt echter verwaarloosbaar geacht ten opzichte van de inname via inademing. Verhoogde luchtconcentraties

tolueen komen vooral voor in woningen in stedelijke gebieden, bij drukke verkeerswegen of naast industrieën die producten op basis van tolueen gebruiken (verfspuitcabines, benzinestations, drukkerijen, schoenmakers). De concentraties tolueen zijn binnenshuis meestal hoger dan buitenshuis [6].

Ook voor styreen en ethylbenzeen geldt dat de inname via voedsel en drinkwater verwaarloosbaar wordt geacht ten opzichte van de inademiingsroute. Zo is 96% van de hoeveelheid ethylbenzeen in het milieu aanwezig in de atmosfeer. Het roken van sigaretten kan een significante toename van de blootstelling aan monocyclische koolwaterstoffen veroorzaken [7].

Gezondheidskundige betekenis

Benzeen is voor de mens een kankerverwekkende stof zonder drempelwaarde en is bestempeld als Zeer Zorgwekkende Stof (ZZS) [12]. In epidemiologische studies is een duidelijk verband aangetoond tussen hoge blootstellingen aan benzeen en het vóórkomen van leukemie bij de mens. Ook in studies met muizen en ratten is gebleken dat benzeen kankerverwekkend is, zowel na inslikken als na inademing [10]. Acute blootstelling van de mens aan een hoge concentratie benzeen heeft voornamelijk effecten op het zenuwstelsel [10]. Hiernaast heeft benzeen een toxische werking op het bloed en bloedvormende weefsels [10].

Andere monocyclische koolwaterstoffen zijn minder toxisch dan benzeen. Tolueen en styreen grijpen aan op het centrale zenuwstelsel en kunnen irritatie van de slijmvliezen van ogen, neus, mond en de bovenste ademhalingswegen veroorzaken.

Tolueen, xyleen, styreen en ethylbenzeen worden gemakkelijk in het lichaam opgenomen en worden bijna volledig omgezet in goed oplosbare metabolieten, waarna ze via de urine worden uitgescheiden [4].

Normen en richtlijnen verklaard

De maximum waarde voor benzeen in drinkwater van 1 µg/L in het Drinkwaterbesluit is overgenomen uit de Europese Drinkwaterrichtlijn (van 1998). Deze waarde is niet veranderd in de herziening van deze richtlijn in 2020. Deze norm komt overeen met een risiconiveau van 1 extra sterfgeval per 1.000.000 mensen bij levenslange blootstelling, wat kan worden beschouwd als een verwaarloosbaar risico.

De maximum waarde voor benzeen in drinkwater is direct gerelateerd aan gezondheid en is door de WHO gebaseerd op epidemiologische studies over het optreden van leukemie bij de mens. Waarden van 10 µg/L en 100 µg/L komen overeen met hogere risiconiveaus, respectievelijk 1 extra sterfgeval per 100.000 en 10.000 mensen, die aan die concentratie levenslang worden blootgesteld [10]. Deze waarden zijn vergelijkbaar als ze worden gebaseerd op dierproeven met muizen en ratten.

In het Drinkwaterbesluit is voor de signaleringsparameter 'monocyclische koolwaterstoffen/aromaten' een maximum waarde van 1 µg/L opgenomen. Deze waarde is bedoeld om de kwaliteit van de bronnen te bewaken. Als monocyclische koolwaterstoffen worden aangetroffen, dient nader onderzoek te worden uitgevoerd, omdat hun aanwezigheid kan duiden op de aanwezigheid van schadelijke stoffen.

In de Europese Drinkwaterrichtlijn was (1998) en is (2020) geen grenswaarde opgenomen voor monocyclische koolwaterstoffen. De WHO heeft geen richtlijn voor de gehele groep van monocyclische koolwaterstoffen. Naast de richtlijn voor benzeen zijn er wel richtlijnen opgesteld voor een aantal individuele stoffen, te weten tolueen, xyleen, styreen en ethylbenzeen. Voor deze verbindingen zijn gezondheidskundige richtlijnen afgeleid van respectievelijk 700 µg/L [17], 500 µg/L [18], 20 µg/L [19] en 300 µg/L [20]. Overigens hebben deze stoffen al bij (veel) lagere concentraties (2 – 24 µg/L) een nadelig effect op de geur van drinkwater [10].

Aanwezigheid in drinkwater(bronnen) en monitoring

Benzeen wordt volgens de Drinkwaterregeling aan het tappunt gemeten. In de periode 2015 – 2020 was de jaargemiddelde concentratie benzeen in 2% van de locaties boven de rapportagegrens (0,02 – 0,05 µg/L). De jaar-mediaan was altijd lager dan 0,05 µg/L. Incidenteel zijn

hoge concentraties gemeten: in 2016 37 µg/L en in 2018 7,3 µg/L (beide keren locatie Berenplaat (Evides Waterbedrijf). In de ILT-rapportage uit deze jaren is de overschrijding gemeld, zonder verdere details (zie Tabel 1). In andere jaren lag de maximale concentratie iets boven de rapportagegrens. Er is geen op- of neergaande trend in de gemiddelde concentraties vast te stellen.

Bodemverontreinigende organische stoffen als benzeen en ook andere monocyclische aromatische koolwaterstoffen kunnen tijdens het transport en de distributie van drinkwater door bepaalde kunststof onderdelen van drinkwaterleidingen permeëren en daarmee de drinkwaterkwaliteit aantasten.

De ‘monocyclische koolwaterstoffen/aromaten’ worden volgens de Drinkwaterregeling in het ruwe water gemeten. De jaargemiddelde concentratie van deze groep was in de periode 2015 – 2020 in 7% van de innamepunten voor oppervlaktewater boven de rapportagegrens (0,01 – 0,05 µg/L). De maximale concentraties in deze periode waren 0,45 µg/L (1,3,5-trimethylbenzeen), 0,5 µg/L (som 1,3- en 1,4-xyleen) en 0,34 µg/L (tolueen). Ook voor de somparameter kon geen trend worden vastgesteld.

Tabel 1 Overzicht normoverschrijdingen benzeen binnen het wettelijke meetprogramma (tenzij anders is vermeld).

Tabel II - Benzeen		Overschrijdingen (metingen)	Gemm.	Min. – Max.
2015	Geen vermeldingen			
2016	Overschrijding (tabel II)	1x (1.692) 1x (25, 1 loc.) Berenplaat	2,2	< 0,05 – 37
2017	Geen vermeldingen			
2018		1x (1.678)	0,26	< 0,05 – 7,3
2019	Geen vermeldingen	-		
2020	Geen vermeldingen*)	-		

*) In de rapportage is 1 keer overschrijding vermeld als ‘aromatische koolwaterstoffen (benzeen, tolueen, ethylbenzeen, xyleen (BTEX)’ zonder specifieke vermelding van benzeen in de bijlage.

Benzeen samen met andere stoffen kan ook in drinkwater terecht komen in situaties van bodemverontreiniging met van organische stoffen als gevolg van permeatie door leidingmaterialen [21]. De praktijkcode drinkwater over dit onderwerp geeft meer inzicht in het omgaan en toetsen van deze situaties, zie [21]. In hun evaluatie van de monitoring van zogenaamde oude stoffen [13] wordt geconcludeerd dat het zinvol blijft om monocyclische koolwaterstoffen inclusief benzeen te blijven monitoren, omdat die regelmatig worden aangetroffen bij innamepunten van oppervlaktewater en in grondwaterwinningen (zie bijvoorbeeld Tabel 1).

Zuivering

Benzeen is een vluchtige stof en kan daarom via beluchting goed uit drinkwater worden verwijderd. Torenbeluchters (ook wel striptoren genoemd) zijn de gangbare uitvoering [15]. Ook met behulp van actieve-koolfiltratie kan benzeen uit het water worden verwijderd. De regeneratie interval van de kool is sterk afhankelijk van de hoeveelheid benzeen die moet worden verwijderd en de eisen die aan het drinkwater worden gesteld.

Monocyclische aromatische koolwaterstoffen kunnen goed worden verwijderd door zuiveringstechnieken zoals beluchting en actieve-koolfiltratie.

Referenties

[1] <https://nl.wikipedia.org/wiki/Benzeen>.



- [2] https://www.favv-afscabewetenschappelijkcomiteadviezen2010/documents/ADVIES09-2010_Bijlage1-fiche1.2.Benzeen.pdf.
- [3] <https://www.parool.nl/nederland/structureel-kankerverwekkend-gas-gelooosd-in-marker-en-ijsmeer~b9d6ddb/?referrer=https%3A%2F%2Fwww.google.nl%2F>.
- [4] <https://www.rivm.nl/ggd-richtlijn-medische-milieukunde-luchtkwaliteit-en-gezondheid/gezondheidseffecten-luchtverontreiniging/luchtkwaliteit-benzeen>.
- [5] <https://nl.wikipedia.org/wiki/Xyleen>.
- [6] <https://nl.wikipedia.org/wiki/Tolueen>.
- [7] <https://nl.wikipedia.org/wiki/Ethylbenzeen>.
- [8] WHO (2000): Air Quality Guidelines for Europe. WHO Regional Publications, European Series, No 91. [Copenhagen: WHO Regional Office for Europe](#).
- [9] Velders, G.J.M., Aben, J.M.M. en Geilenkirchen, G.P., et al. (2017): Grootschalige concentratie- en depositiekaarten Nederland: Rapportage 2017 [RIVM Rapport 2017-0117](#).
- [10] World Health Organization (2003): Benzene in Drinking-water. Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality. WHO, Geneva.
<https://www.who.int/teams/environment-climate-change-and-health/water-sanitation-and-health/chemical-hazards-in-drinking-water/benzene>
- [11] Benzeen | Gezond Leven
- [12] <https://rvszoeksysteem.rivm.nl/Stoffen>.
- [13] Houtman, C.J., Velzeboer, I., Slootweg, T., en Kroesbergen, J., (2015): Organische stoffen in het Drinkwaterbesluit: 2 Monitoring van 'oude stoffen'. H2O-Online.
<https://edepot.wur.nl/361416>.
- [14] Moel, P. J. de, Verberk, J. Q. J.C., Dijk, J. C. van, (2004). Drinkwater principes en praktijk.
- [15] <https://www.logisticon.com/technieken/striptorens>
- [16] Luchtkwaliteit - benzeen | RIVM
- [17] <https://cdn.who.int/media/docs/default-source/wash-documents/wash-chemicals/toluene.pdf>
- [18] <https://cdn.who.int/media/docs/default-source/wash-documents/wash-chemicals/xylenes.pdf>
- [19] <https://cdn.who.int/media/docs/default-source/wash-documents/wash-chemicals/styrene.pdf>
- [20] <https://cdn.who.int/media/docs/default-source/wash-documents/wash-chemicals/ethylbenzene-bd.pdf>
- [21] Meerkerk, M.A. (2020): 'De toepassing van leidingmaterialen in met organische stoffen verontreinigde bodems; *Permeatie*', 5^e editie, [PCD 5:2020](#), KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.

- **Benzo(a)pyreen en (andere) polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's)**

Benzo(a)pyreen:

Grondslag norm: gezondheidkundig

Drinkwaterbesluit 2011: maximum waarde 0,01 µg/l

WHO 2017: richtwaarde 0,7 µg/l

Europese Drinkwaterrichtlijn 2020: parameterwaarde 0,01 µg/l

PAK's:

Grondslag norm: gezondheidkundig

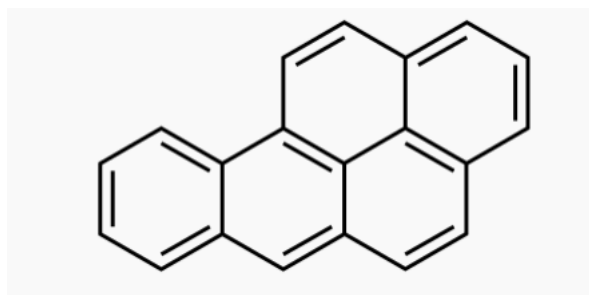
Drinkwaterbesluit 2011: maximum waarde 0,1 µg/l (Som van gespecificeerde verbindingen met concentratie hoger dan de detectiegrens. De gespecificeerde verbindingen zijn: pyreen, benzo(a)antraceen, benzo(ghi)peryleen, fenantreen, indeno(1,2,3-cd)pyreen, anthraceen, benzo(b)fluorantheen, benzo(k)fluorantheen, chryseen en fluorantheen.)

WHO 2017: geen vermelding

Europese Drinkwaterrichtlijn 2020: parameterwaarde 0,1 µg/l (Som van de concentraties van de volgende gespecificeerde verbindingen: benzo(b)fluorantheen, benzo(k)fluorantheen, benzo(ghi)peryleen en indeno(1,2,3-cd) pyreen)

Herkomst

Benzo(a)pyreen is een polycyclische aromatische koolwaterstof (PAK) met als brutoformule $C_{20}H_{12}$. De naam is afgeleid van de stof met vier ringen (pyreen), waaraan nog een benzeenring is gekoppeld. De aanduiding '(a)' geeft aan op welke plaats deze groep aan het 'pyreenskelet' is verbonden. De stof komt voor als een gelige vaste stof [1].



Figuur 1 Structuurformule van benzo(a)pyreen.

Benzo(a)pyreen is een van de stoffen die ontstaan bij onvolledige verbranding bij temperaturen tussen 300 en 600°C. In 1933 was benzo(a)pyreen de eerste stof (geïsoleerd uit koolteer) waarvoor een relatie werd aangetoond tussen de stof en het optreden van bepaalde vormen van werk-gerelateerde kanker [1]. In 1775 werd deze beroepskanker al beschreven voor schoorsteenvegers. Deze ontwikkelden schijnbare wratten, die werden veroorzaakt door contact met roetdeeltjes. Als die wratten niet werden verwijderd, leidde dit tot scrotumkanker [2]. In de 19^e eeuw viel het vóórkomen van een groot aantal gevallen van huidkanker op onder stokers van stoommachines. In het begin van de 20^e eeuw werd de relatie tussen benzo(a)pyreen en kanker aangetoond bij laboratoriumdieren door deze regelmatig met koolteer in te smeren [1].

PAK's bestaan uit gekoppelde aromatische ringen, uitsluitend bestaand uit koolstof en waterstof. De stoffen ontstaan door onvolledige verbranding of verkoling van organische stoffen en worden bijvoorbeeld gevormd bij het aanbranden van eten en het stoken van houtkachels en open haarden [3]. PAK's komen voor in tabaksrook en uitlaatgassen, en worden gevormd bij bosbranden en vulkaanuitbarstingen. PAK's zijn mogelijk al in de eerste paar miljard jaar na de oerknal ontstaan, vermoedelijk gedurende de vorming van nieuwe sterren en exoplaneten. Sommige astrochemische onderzoeken suggereren dat PAK's een aanzienlijk percentage van alle koolstof in het universum vormen. De stoffen worden hierdoor gezien als mogelijke uitgangsmaterialen voor abiotische synthese van stoffen die zijn vereist voor de vroegste levensvormen [3].

PAK's zijn ongeladen, apolaire moleculen die slecht in water oplossen en goed hechten aan (slib)deeltjes [3]. Via koolteer en bitumen 'linings' in verzinkt stalen leidingen kunnen PAK's in theorie in het drinkwater terecht komen [4]. Dat is ook het geval door middel van permeatie door onderdelen van drinkwaterleidingen van bepaalde kunststof materialen [14].

Blootstellingsroutes

De meeste PAK's inclusief benzo(a)pyreen komen via voeding (als gevolg van aanbranden, zie [16]) en in mindere mate via inademing in het lichaam terecht [1]. Een heel kleine hoeveelheid kan worden opgenomen via de huid [6]. Drinkwater speelt onder normale omstandigheden geen rol van betekenis bij de blootstelling aan PAK's.

Gezondheidskundige betekenis

PAK's die via voedsel het lichaam binnenkomen, worden in het maagdarmkanaal omgezet of opgenomen in lymfe en bloed. Vandaar worden de stoffen snel naar vrijwel alle weefsels verplaatst (waaronder de nieren, lever en longen), waar ze worden omgezet tot minder of in sommige gevallen meer toxische omzettingsproducten of zich ophopen, met name in vet. Het grootste probleem van PAK's en met name van benzo(a)pyreen (de meest toxische PAK) is dat deze stoffen kanker veroorzaken [17]. Daarnaast kunnen PAK's bij hoge concentraties ook negatieve effecten hebben op de huid en oog- en slijmvliesirritaties veroorzaken [3].

Normen en richtlijnen verklaard

De PAK's staan op de ZZS-lijst [7]. Het bewijs dat (mengsels van) PAK's kankerverwekkend zijn voor de mens is al lang bekend uit onderzoeken naar de blootstelling van bepaalde beroepsgroepen via inademing en huidcontact (huidkanker en kanker van epitheelweefsel). Over de acute en chronische toxiciteit van PAK's (individueel en/of in mengsels) na orale opname in de mens, is relatief weinig bekend [4].

Voor benzo(a)pyreen heeft de WHO een richtwaarde afgeleid van 0,7 µg/l, die is gebaseerd op een risiconiveau van 10^{-5} bij levenslange blootstelling [4]. Het Drinkwaterbesluit en de Europese Drinkwaterrichtlijn hebben uit veiligheidsoverwegingen een strengere grenswaarde van 0,01 µg/l.

Voor fluorantheen (de PAK die het vaakst in drinkwater wordt aangetroffen bij het gebruik van koolteer- of bitumencoatings in stalen leidingen) is een WHO-richtwaarde afgeleid van 4 µg/l [4]. Deze gezondheidskundige richtwaarde is veel hoger dan de concentraties die normaliter worden gevonden in drinkwater, zodat fluorantheen geen gezondheidskundige bedreiging vormt. Een formele vaststelling van deze richtwaarde wordt door de WHO niet noodzakelijk geacht [5].

Aanwezigheid in drinkwater(bronnen) en monitoring

Volgens de Drinkwaterregeling is er voor alle PAK's een meetverplichting: zowel het ruwe water als het gezuiverde water moeten één keer per jaar worden gecontroleerd op deze stoffen. Oppervlaktewater dat als bron voor de bereiding van drinkwater wordt gebruikt, mag maximaal 1 µg/L aan PAK's bevatten. Voor drinkwater is er een meetverplichting na de laatste zuiveringsstap of aan het tappunt.

Tussen 2016 en 2020 is benzo(a)pyreen in ruw water bij het gebruik van oppervlaktewater in gemiddeld 15,4% van de metingen bij het winpunt aangetroffen. Er is geen trend voor dit percentage. In 2015 is deze PAK niet aangetroffen; de metingen in 2015 hebben voor het grootste deel relatief hoge rapportagegrenzen. De rapportagegrens voor de hele periode ligt tussen de

0,002 – 0,02 µg/L. De mediaanconcentratie (0,002 µg/L) ligt op de laagste rapportagegrens. De hoogste waarde die is gemeten, is 0,014 µg/L (in 2016). Voor grondwater is uitsluitend in 2020 in een van de elf metingen bij het winpunt benzo(a)pyreen aangetroffen boven de rapportagegrens. De mediaanconcentratie (0,009 µg/L) ligt onder de hoogste rapportagegrens en de maximale concentratie is 0,01 µg/L (gemeten in 2020).

Tussen 2015 en 2020 zijn PAK's (som 10) in ruw oppervlaktewater in 66,3% van de winpuntmetingen boven de rapportagegrens (0,005 – 0,025 µg/L) gemeten. Er is een dalende trend in dit percentage. De mediaanconcentratie (0,02 µg/L) ligt beneden de hoogste rapportagegrens. Het maximum dat is gemeten, is 0,017 µg/L (gemeten in 2017). Voor ruw grondwater zijn PAK's (som 10) in geen van de winpuntmetingen boven genoemde rapportagegrens aangetoond.

Tussen 2015 en 2020 zijn PAK's (som 10) aan het tappunt gemiddeld over de jaren in 4,2% van de meetlocaties aangetroffen. Dit percentage heeft een licht dalende trend. De rapportagegrens ligt tussen de 0,005 – 0,025 µg/L. De mediaanconcentratie (0,01 µg/L) ligt onder de hoogste rapportagegrens en het maximum is 0,19 µg/L (gemeten in 2018).

Uitsluitend in 2017 is benzo(a)pyreen aan het tappunt in twee van de 127 meetpunten aangetroffen in de jaren 2015 – 2020. De rapportagegrens ligt tussen de 0,002 – 0,01 µg/L. De mediaanconcentratie (0,005 µg/L) ligt onder de hoogste rapportagegrens. De hoogst gemeten waarde is 0,008 µg/L (in 2017).

Zuivering

PAK's worden via coagulatie/flocculatie/sedimentatie of beluchting gevolgd door snelfiltratie slecht tot matig verwijderd. De verwijdering in deze proceslijn is doeltreffend in het geval een PAK gebonden is aan colloïden. In water opgelost PAK's worden nauwelijks verwijderd [14]. Met geavanceerdere processen kunnen PAK's wel goed worden verwijderd. De stoffen worden goed geadsorbeerd aan actieve kool, zijn goed te oxideren met (geavanceerde) oxidatieprocessen en kunnen met membraanfiltratie (nanofiltratie of omgekeerde osmose) worden verwijderd [8, 9, 10, 11].

Benzo(a)pyreen is binnen de categorie PAK's een relatief groot molecuul, waardoor de verwijdering over het algemeen eenvoudiger is dan voor betrekkelijk kleine PAK's. Bovengenoemde processen (membraanfiltratie, oxidatie en adsorptie aan actieve kool) zijn zeker effectief, maar dit molecuul wordt ook tijdens conventionele zuivering beter ingevangen in vlokken, waardoor het daarbij beter dan veel andere PAK's kan worden verwijderd [15]. Opslag in de drie in serie geschakelde Biesbosch-spaarbekkens (met een gemiddelde verblijftijd van 5 maanden) heeft een 70-voudige reductie van benzo(a)pyreen door fotolyse tot gevolg [12].

Referenties

- [1] [Benzo\(a\)pyreen - Wikipedia](#)
- [2] [Schoorsteenveger carcinoom - frwiki.wiki](#)
- [3] [Polycyclische aromatische koolwaterstoffen - Wikipedia](#)
- [4] WHO (2003): Polynuclear aromatic hydrocarbons in drinking water. Background document for development of WHO *Guidelines for Drinking-water Quality*. WHO/SDE/WSH/03.04/59. WHO, Genève.
- [5] World Health Organization (2017): Guidelines for drinking-water quality; Fourth edition incorporating the first addendum. WHO, Genève.
- [6] [Polycyclische Aromatische Koolwaterstoffen \(PAK's\) | RIVM](#)
- [7] <https://rvszoeksysteem.rivm.nl/Stoffen>
- [8] Gutierrez-Urbano, I., M. Villen-Guzman, R. Perez-Recuerda, Rodriguez-Maroto, J.M. (2021): Removal of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in conventional drinking water treatment processes. J. Cont. Hydrol., 243.

- [9] Rosińska, A., Dabrowska L. (2018): Selection of coagulants for the removal of chosen PAH from drinking water. *Water* (Switzerland) 10.
- [10] Wu, Y.C., L.J. Chen, Y.Q. Lan, Liu R. (2016): Performance of nanofiltration for improving the drinking water quality in a water supply plant with micropolluted water resource. *Huanjing Kexue/Environmental Science*, 37, 3466-3472.
- [11] Li, W.G., W. Qin, Y. Song, Z.J. Zheng, and L.Y. Lv, *Impact of ozonation and biologically enhanced activated carbon filtration on the composition of micropollutants in drinking water*. *Environ. Sci. Poll. Res.* 26, 33927-33935.
- [12] Oskam, G. (1995): Main principles of water quality improvements in reservoirs. *J SRT Aqua* 44, 23-29.
- [13] Meerkerk, M.A., en Schans, M.L. van der (2020): 'De toepassing van leidingmaterialen in met organische stoffen verontreinigde bodems; *Permeatie*', 5^e editie, [PCD 5:2020](#), KWR Water Research Institute, Nieuwegein.
- [14] Starkenburg, W. van (1981): 'Polycyclische aromatische koolwaterstoffen; mogelijkheden ter verwijdering uit afvalwater' *H2O* (14) nr. 22 pag. 537-540
- [15] Starkenburg, W. van (1981): 'Polycyclische aromatische koolwaterstoffen' RIZA publicatie nr 81047
- [16] [Bronnen van Polycyclische Aromatische Koolwaterstoffen \(PAK's\) | RIVM](#)
- [17] [mono100F-14.pdf \(who.int\)](#)

● Bestrijdingsmiddelen (pesticiden)

Grondslag norm: voorzorg (ethisch), gezondheidskundig

Drinkwaterbesluit 2011: maximum waarde 0,1 µg/l per stof (voor aldrin, dieldrin, heptachloor en heptachloorepoxide geldt een maximumwaarde van 0,030 µg/l)

Drinkwaterbesluit 2011: maximum waarde 0,5 µg/l voor de som van afzonderlijke bestrijdingsmiddelen

WHO: richtwaarde 0,03 – 200 µg/l voor 31 bestrijdingsmiddelen

EG-Drinkwaterrichtlijn 1998: parameterwaarde 0,1 µg/l per stof (voor aldrin, dieldrin, heptachloor en heptachloorepoxide geldt een waarde van 0,030 µg/l)

EG-Drinkwaterrichtlijn 1998: parameterwaarde 0,5 µg/l voor de som van afzonderlijke bestrijdingsmiddelen

Introductie

Om de productie op peil te houden en te verhogen, worden in de landbouw de gewassen beschermd tegen ziektes, insecten, schimmels en andere plagen. In deze factsheet wordt gesproken over 'bestrijdingsmiddelen', terwijl in de wet- en regelgeving ook de termen 'gewasbeschermingsmiddelen' of 'pesticiden' gangbaar zijn voor grotendeels dezelfde groep stoffen. 'Gewasbeschermingsmiddelen' zijn stoffen die in de landbouw worden gebruikt, terwijl onder bestrijdingsmiddelen ook de stoffen vallen die buiten de landbouw worden toegepast ('Biociden'). In de wet- en regelgeving voor drinkwater is sprake van 'pesticiden' [3].

Een bestrijdingsmiddel bevat een of meer werkzame stoffen en daarnaast (hulp)stoffen die het gebruik van het middel verbeteren, zoals antiklontermiddelen of toevoegingen die de bevochtiging bij het oplossen verbeteren. De werkzame stoffen zijn de actieve componenten in het middel en zorgen voor het gewenste effect [3]. Bestrijdingsmiddelen bevatten werkzame stoffen tegen schadelijke organismen. Daarom brengt het gebruik naast voordelen ook risico's met zich mee voor de volksgezondheid en het milieu [3], en zijn de toelating, de verkoop en het gebruik van bestrijdingsmiddelen streng gereguleerd.

De toelating van bestrijdingsmiddelen is geregeld in Europese en Nederlandse wet- en regelgeving. In Nederland is dit de [Wet Gewasbeschermingsmiddelen en biociden](#) [9] en het [Besluit gewasbeschermingsmiddelen en biociden](#) [10]. Die middelen worden in Nederland uitsluitend toegelaten als de daarin werkzame stof al is goedgekeurd in Europa [3]. De door de Europese Unie (EU) goedgekeurde werkzame stoffen worden opgenomen in een 'uitvoeringsverordening' [14] en zijn te vinden in de EU pesticidendatabase [3] (<https://ec.europa.eu/food/plant/pesticides/eu-pesticides-database/public/?event=homepage&language=EN>). De [Regeling gewasbeschermingsmiddelen en biociden](#) [8] biedt een praktische uitwerking van wet en besluit [3].

Toelating is mogelijk nadat de risico's voor de stof en zo nodig ook omzettingsproducten (metabolieten) zijn beoordeeld. Bij die risicobeoordeling wordt onderzocht of er bij normaal gebruik geen nadelige milieu- of gezondheidseffecten zullen optreden. Het [College voor de toelating van gewasbeschermingsmiddelen en biociden](#) (Ctgb) neemt namens Nederland deel aan de Europese beoordeling van de werkzame stoffen [3]. Bij het Ctgb (<https://www.ctgb.nl/>) zijn de in Nederland toegelaten bestrijdingsmiddelen en biociden en hun restricties te vinden.

Het Ctgb controleert of de toepassing van bestrijdingsmiddelen gepast is. Het Ctgb voert een extra toets uit voor de beoordeling van bestrijdingsmiddelen die boven de maximum waarde van 0,1 µg/l voor drinkwater worden aangetroffen in bronnen voor drinkwater [2]. In 2019 verbood het Ctgb

bijvoorbeeld het gebruik van glyfosaathoudende middelen in het Maasstroomgebied om herhaalde overschrijdingen van die maximum waarde daar tegen te gaan [5].

In de jaren 1985 – 2002 halveerde de afzet van gewasbeschermingsmiddelen (in volume) in Nederland, terwijl de laatste 10 jaar de afzet weer licht toeneemt. In 2018 ging het om ongeveer 1.000 gewasbeschermingsmiddelen en 1.600 biociden, met daarin 483 werkzame stoffen [7]. Daarnaast is er een verschuiving waar te nemen naar meer polaire (beter wateroplosbare) stoffen. Deze zijn lastiger om in de zuivering uit het water te halen.

Herkomst

De landbouw is verantwoordelijk voor ruim de helft van het verbruik van bestrijdingsmiddelen in Nederland. Het verbruik van landbouwbestrijdingsmiddelen bedroeg in 2018 5.700 ton, terwijl er circa 10.000 ton werd verkocht [16]. De landbouwbestrijdingsmiddelen komen door hun toepassing gemakkelijk in het milieu terecht. Via de lucht, regenwater, afspoeling en uitspoeling bereiken ze het oppervlaktewater en grondwater. De andere helft van het verbruik aan bestrijdingsmiddelen komt voor rekening van gemeenten, bedrijven, industrie, particulier huishoudelijk gebruik en de scheepvaart (aangroeiwerende verven). Bestrijdingsmiddelen die door gemeenten op verhardingen (trottoirs, pleinen) worden gebruikt, spoelen vaak met de regen via het riool naar het oppervlaktewater. Hoewel de hoeveelheid die door gemeenten wordt gebruikt minder groot is dan die bij andere toepassingen, is het effect ervan op de bronnen voor drinkwater minstens zo groot. In 1993 moest Waterwinningbedrijf Brabantse Biesbosch de inname van Maaswater 49 dagen stopzetten, omdat het water te veel diuron bevatte. Deze stof was grotendeels afkomstig van gemeenten die het als onkruidbestrijdingsmiddel op verhardingen toepasten.

Ook in grondwater komen regelmatig bestrijdingsmiddelen voor. Er wordt geschat dat de bestrijdingsmiddelen die in grondwater en in kleine oppervlaktewateren voorkomen vooral afkomstig zijn uit de landbouw. Ook overstorten van rioolwater en effluënten van AWZI's dragen soms flink bij. In de grote rivieren ligt de situatie iets anders. Daar zijn ook de industrie, andere gebruikers en de landbouw in Duitsland en België van invloed.

Het aandeel van de verschillende emissieroutes van gewasbeschermingsmiddelen naar het oppervlakte- en grondwater is nog onzeker en is onderwerp van lopend onderzoek [15].

Blootstellingsroutes

De belangrijkste bron van blootstelling van de mens aan bestrijdingsmiddelen is de voeding. Voor groente en fruit is per bestrijdingsmiddel vastgesteld wat de 'maximale residulimiet' (MRL) mag zijn. Deze varieert van 0,02 tot 10 mg/kg [11]. Voor 2% van de geteste producten worden residuen van bestrijdingsmiddelen gevonden die boven de MRL liggen [12]. In groenten en fruit worden regelmatig residuen van bestrijdingsmiddelen gevonden die boven de limiet liggen, met name in spinazie, sla, andijvie, paprika, aardbeien, bleekselderij en komkommer. Gevonden concentraties kunnen oplopen tot maximaal 15 mg/kg. Deze overschrijdingen betreffen veelal geïmporteerde producten. In de praktijk is het onwaarschijnlijk dat iemand levenslang hetzelfde product met dezelfde hoeveelheid bestrijdingsmiddelen eet. Uit berekeningen van de Nederlandse Voedsel en Warenautoriteit (NVWA) blijkt ook dat als een MRL wordt overschreden er vrijwel nooit sprake is van een gevaar voor de volksgezondheid [12].

Blootstelling aan bestrijdingsmiddelen via drinkwater is veel kleiner dan via voedsel. De concentratie van bestrijdingsmiddelen in drinkwater ligt in de meeste gevallen (ver) onder de grenswaarde van 0,1 µg/l. Voor een aantal bestrijdingsmiddelen wordt deze grenswaarde soms overschreden, bijvoorbeeld voor bentazon, bromacil, dikegulac, mecoprop en 1,2-dichloorpropan. De maximale concentraties die in het drinkwater voorkomen, liggen echter altijd ruim onder de toxicologische grenswaarden.

Gezondheidkundige betekenis

De meeste bestrijdingsmiddelen zijn toxisch voor de mens in concentraties die 100 – 1.000 keer hoger zijn dan de maximum waarde van 0,1 µg/l volgens het [Drinkwaterbesluit](#). Uitsluitend voor aldrin, dieldrin, heptachloor en heptachloorepoxide zijn de toxicologische richtwaarden vastgelegd

op 0,03 µg/l. Chronische blootstelling aan bestrijdingsmiddelen heeft mogelijk schadelijke effecten op zenuwstelsel, hormoonproductie, afweersysteem, voortplanting, nieren, hart, vaten en longen. Mogelijk verhoogt blootstelling aan pesticiden de kans op ziekten als kanker, Parkinson, Alzheimer, multiple sclerose (MS), diabetes, hart- en vaatziekten en nierziekten [13]. Sommige bestrijdingsmiddelen zoals de schimmelbestrijder mancozeb worden ervan verdacht een hormoonverstorende werking te hebben [17]. Voor aquatische organismen is een aantal bestrijdingsmiddelen toxisch op het niveau van 0,1 µg/l en lager.

Normen en richtlijnen verklaard

In de wetgeving voor de kwaliteit van het drinkwater is er speciale aandacht voor gewasbeschermingsmiddelen. De [Drinkwaterregeling](#) stelt aan oppervlaktewater dat is bestemd voor de bereiding van drinkwater een grenswaarde van 0,1 µg/l aan bestrijdingsmiddelen. Dezelfde eis (maar dan als 'milieukwaliteitseis') komt voor in het [Protocol monitoring & toetsing drinkwaterbronnen KRW](#), waarbij de waterbeheerder verantwoordelijk is voor de toetsing.

In de jaren 80 van de vorige eeuw zijn de eerste grenswaarden vastgesteld voor toelaatbare concentraties in zowel de bron als drinkwater. De gedachte was destijds dat deze stoffen niet in het drinkwater horen voor te komen, maar dat een grenswaarde van nul wetenschappelijk en politiek onhoudbaar zou zijn. Daarom werd voor de maximale waarde de detectielimiet voor het bestrijdingsmiddel endosulfan leidend. Dit heeft geresulteerd in een maximum waarde van 0,1 µg/l per individuele stof en 0,5 µg/l voor alle bestrijdingsmiddelen samen. De maximum waarde van 0,1 µg/l geldt voor organische insecticiden, herbiciden, fungiciden, nematociden, acariciden, algiciden, rodenticiden en slimiciden, en de metabolieten die humaan toxicologisch relevant zijn. De WHO heeft voor 31 bestrijdingsmiddelen toxicologische richtlijnwaarden afgeleid. Die richtlijnwaarden variëren van 0,03 µg/l voor aldrin/dieldrin tot 200 µg/l voor hydroxyatrazine (een metaboliet van atrazine) [1].

Ondanks het feit dat steeds meer bekend is over de schadelijke effecten van bestrijdingsmiddelen, bestaan er ook nog onduidelijkheden, zoals de effecten op de lange termijn, gecombineerde effecten van meerdere bestrijdingsmiddelen en eventuele hormoonverstorende effecten. Daarom handhaaft de Europese Unie het voorzorgprincipe dat bestrijdingsmiddelen niet in drinkwater mogen voorkomen. Een van de wereldwijd meest gebruikte pesticiden is glyfosaat. Over die stof is al een jarenlange discussie gaande of het al dan niet kankerverwekkend is.

Een aantal bestrijdingsmiddelen is opgenomen in de lijst [Zeer Zorgwekkende Stoffen](#) (ZZS), gewasbeschermingsmiddelen en of biociden. Deze lijst is bedoeld als een hulpmiddel voor bedrijven en vergunningverleners en heeft als doel de risico's voor mens en milieu te beperken. De meeste stoffen op de lijst zijn als gewasbescherming en/of biocide niet meer toegelaten. Bedrijven die deze stoffen gebruiken, hebben verplichtingen bij gebruik, import en uitstoot.

Aanwezigheid in drinkwater(bronnen) en monitoring

In de Rijn en Maas wordt over zo'n 550 bestrijdingsmiddelen en metabolieten gerapporteerd ([RIWA](#)). Voor 57 daarvan is een gemiddelde concentratie boven de detectiegrens aangetoond. De hoogste concentraties betreffen de metabolieten AMPA (0,57 µg/l) en desfenylchloridazon (0,16 µg/l). De volgende pesticiden zijn in de afgelopen 10 jaar in relatief hoge concentraties aangetoond: metolachloor esa (0,07 µg/l), TCA (0,05 µg/l), metolachloor oa (0,039 µg/l) en glyfosaat (0,032 µg/l). Circa tien bestrijdingsmiddelen overschrijden in het ruwe water minstens eenmaal in een jaar op minstens één van de meetlocaties in Rijn en/of Maas de maximum waarde uit het [Drinkwaterbesluit](#) en de [Drinkwaterregeling](#) ([RIWA](#)).

Ook in grondwater komen regelmatig bestrijdingsmiddelen voor. Bij een kwart van de circa 200 onderzochte winningen voor drinkwater werden in 2016 (metabolieten van) bestrijdingsmiddelen aangetroffen in het grondwater [4]. Er wordt voor 440 bestrijdingsmiddelen in grondwater structureel gerapporteerd. Niet al deze stoffen worden op alle locaties gemeten ([REWAB](#)). In totaal 33 bestrijdingsmiddelen hebben een gemiddelde concentratie in grondwaterbronnen boven de detectielimiet. De hoogste vijfjarig-gemiddelde concentratie is voor desfenylchloridazon, een

niet relevant humaan-toxicologisch relevant metaboliet (0,091 µg/l). Dikegulac-natrium overschreed de afgelopen vijf jaar de maximum waarde minstens eenmaal in een jaar op 14% van de 75 gerapporteerde locaties (REWAB), maar dit is ook een stof die wordt beschouwd als toxicologisch niet-relevant. Deze stof kan ook in het milieu komen vanuit andere routes (onder meer de productie van vitamine C). Het natriumzout van dikegulac is goed in wateroplosbaar en wordt vooral aangetroffen bij oevergrondwaterwinningen. Dit is een gevolg van het vóórkomen van de stof in de Rijn in het begin van de negentiger jaren.

Het vóórkomen van (metabolieten van) bestrijdingsmiddelen in grondwater is vaak het gevolg van langdurig gebruik in het intrekgebied. In het geval een grondwaterwinning eenmaal is verontreinigd met bestrijdingsmiddelen dan duurt het over het algemeen lang voordat de concentraties afnemen, omdat het gehele intrekgebied is verontreinigd en het grondwatersysteem langzaam reageert [4].

In het drinkwater worden in totaal 528 bestrijdingsmiddelen geanalyseerd. Niet al deze stoffen worden op alle drinkwaterproductielocaties gemeten. In het algemeen worden deze stoffen in het drinkwater niet aangetroffen. Als de detectielimiet wordt overschreden (wat voor 54 stoffen in de afgelopen vijf jaar het geval was), liggen de concentraties doorgaans onder de maximum waarde van 0,1 µg/l. Voor een aantal bestrijdingsmiddelen werd deze waarde in de afgelopen vijf jaar incidenteel en/of kortdurend overschreden: trichloorazijnzuur, dinoterb, dikegulac-natrium, bentazon en 2,6-dichloorbenzamidem, en het niet humaan-relevante metaboliet desfenylchloridazon (met maximum waarde 1 µg/l) (REWAB). Hiervoor zijn corrigerende maatregelen getroffen.

Bij de parameter bestrijdingsmiddelen is in de [Europese Drinkwaterrichtlijn](#) de volgende opmerking opgenomen: *‘Alleen die pesticiden die naar alle waarschijnlijkheid in bepaald water voorkomen, moeten worden gecontroleerd.’* Bestrijdingsmiddelenconcentraties in ruw- en reinwater worden door alle drinkwaterbedrijven gerapporteerd. Een overschrijding van de maximum waarde voor bestrijdingsmiddelen in drinkwater komt zeer incidenteel voor.

Zuivering

De meeste bestrijdingsmiddelen kunnen goed worden verwijderd met behulp van membraanfiltratie (met name [nanofiltratie](#) en [omgekeerde osmose](#)), [actieve-koolfiltratie](#) of ([geavanceerde](#)) [oxidatie](#) met ozon, ozon/waterstofperoxide of UV/ waterstofperoxide. [Oxidatie](#) met ozon is effectief voor de afbraak van een breed scala aan bestrijdingsmiddelen en andere organische chemicaliën [1]. Vanwege de vorming van het kankerverwekkende bromaat wordt deze oxidatie in Nederland niet veel (meer) toegepast. Veelal volgt [actieve-koolfiltratie](#) na de oxidatiestap, gericht op het verwijderen van de gevormde oxidatieproducten. [Actieve-koolfiltratie](#) (over granulaire actieve kool) of poederkooldosering zijn erg geschikt voor het verwijderen van bestrijdingsmiddelen [1]. De detectie van het bestrijdingsmiddel bentazon in het drinkwater van Amsterdam in 1987 is aanleiding geweest voor een brede invoering van actieve kool bij de bereiding van drinkwater in Nederland.

Referenties

[1] World Health Organization (2017): ‘Guidelines for drinking-water quality; Fourth edition incorporating the first addendum’, ISBN 978-92-4-154995-0, Geneva.

<https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/254637/9789241549950-eng.pdf;jsessionid=2664217407E6F72C0DD4BA2B94E7D61B?sequence=1>

[2] Vewin: webpagina ‘Gewasbeschermingsmiddelen en biociden in oppervlaktewater bestemd voor drinkwaterproductie’.

<https://www.vewin.nl/Probleemstoffen/Paginas/default.aspx>

[3] RIVM: webpagina ‘Gewasbeschermingsmiddelen’, 9 oktober 2020.

<https://rvs.rivm.nl/stoffen-en-producten/Gewasbeschermingsmiddelen>

[4] Swartjes, F.A., Linden, A.M.A. van der, en Aa, N.G.F.M. van der (2016): ‘Bestrijdingsmiddelen in grondwater bij drinkwaterwinningen: huidige belasting en mogelijke maatregelen’, RIVM Rapport

2016-0083, RIVM, Bilthoven.

<https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2016-0083.pdf>

[5] Ctgb (2019): webpagina 'Principebesluiten middelen met glyfosaat', 11 oktober 2019.

<https://www.ctgb.nl/actueel/nieuws/2019/10/10/principebesluiten-middelen-met-glyfosaat>

[6] Loon, A.H. van, Sjerps, R.M.A., en Raat, K.J. (2019): 'Gewasbeschermingsmiddelen en hun afbraakproducten in Nederlandse drinkwaterbronnen', rapport BTO 2019.016, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.

<https://library.kwrwater.nl/publication/58669590/>

[7] Ctgb (2019): 'Jaarverslag 2018', webpagina 'Jaarverslag 2018', 25 april 2019.

<https://www.ctgb.nl/documenten/jaarverslagen/2019/04/25/jaarverslag-2018>

https://www.ctgb.nl/binaries/ctgb/documenten/jaarverslagen/2019/04/25/jaarverslag-2018/ctgb_jaarverslag+2018+compleet_definitief_perpagina_LR.pdf

[8] Overheid (2020): 'Regeling gewasbeschermingsmiddelen en biociden' geldend van 1 april 2020.

<https://wetten.overheid.nl/BWBR0022545/2020-04-01>

[9] Overheid (2020): 'Wet gewasbeschermingsmiddelen en biociden' geldend van 1 januari 2020.

<https://wetten.overheid.nl/BWBR0021670/2020-01-01>

[10] Overheid (2018): 'Besluit gewasbeschermingsmiddelen en biociden' geldend van 1 juli 2018.

<https://wetten.overheid.nl/BWBR0022530/2018-07-01>

[11] Overheid (2016): 'Warenwetregeling residuen van bestrijdingsmiddelen' geldend van 20 juli 2016.

<https://wetten.overheid.nl/BWBR0003658/2016-07-20>

[12] Voedingscentrum: webpagina 'Bestrijdingsmiddelen'.

<https://www.voedingscentrum.nl/encyclopedie/bestrijdingsmiddelen.aspx>

[13] Mostafalou, S., and Abdollahi, M. (2017): 'Pesticides: an update of human exposure and toxicity', Archives of Toxicology, february 2017, volume 91, pages 549 – 599.

<https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs00204-016-1849-x>

[14] Europese Unie (2011): 'Uitvoeringsverordening' (EU) Nr. 540/2011 van de Commissie', Brussel.

<https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:153:0001:0186:NL:PDF>

[15] Kennisimpuls Waterkwaliteit (2020): 'Deltafact: Een inventarisatie van emissieroutes van gewasbeschermingsmiddelen naar oppervlaktewater en grondwater'.

<https://www.kennisimpulswaterkwaliteit.nl/nl/publicaties/deltafact-een-inventarisatie-van-emissieroutes-van-gewasbeschermingsmiddelen-naar>

[16] <https://demonitor.kro-ncrv.nl/artikelen/tien-miljoen-kilo-bestrijdingsmiddelen-gebruiken-wepers-jaar-waar-blijven-die>

[17] ECHA (2019) Committee for Risk Assessment (RAC) Opinion proposing harmonised classification and labelling at EU level of mancozeb (ISO); manganese ethylenebis(dithiocarbamate) (polymeric) complex with zinc salt EC Number: - CAS Number: 8018-01-7 CLH-O-0000001412-86-263/F Adopted 15 March 2019

<https://echa.europa.eu/documents/10162/6ea48bca-63ef-2999-1f1f-4ac1278d7b60>

● Bisfenol A (BPA)

Grondslag norm: gezondheidkundig

Drinkwaterbesluit 2011: geen vermelding

WHO 2017: geen vermelding

Europese Drinkwaterrichtlijn 2020: parameterwaarde 2,5 µg/l

Herkomst

Bisfenol A (BPA, $C_{15}H_{16}O_2$) werd voor het eerste gesynthetiseerd in 1891 en wordt sinds de jaren '50 van de 20^e eeuw op commerciële schaal gesynthetiseerd voor gebruik in de productie van plastics [1]. BPA is met een productie van ongeveer 9 Mton per jaar [2] een van de chemicaliën met het hoogste productievolume ter wereld. Het is een van de bekendste stoffen in een grotere familie bisfenolen met vergelijkbare chemische structuren en toepassingen. Het is een witte kristallijne vaste stof die slecht oplost in water [3]. BPA wordt gebruikt in plastics die worden toegepast in bijvoorbeeld bouwmaterialen, elektronica, plastic flessen (door polymerisatie van bisfenol A met fosgeen of een vergelijkbare stof wordt polycarbonaat gevormd), (voedsel)verpakkingsmateriaal, implantaten, infuusapparatuur en speelgoed. Daarnaast wordt BPA onder meer gebruikt als basis voor epoxy verven en lijmen (waar het één van de monomeren in een copolymerisatieproces is), in bepaalde tandheelkundige materialen, in inkt en in thermisch papier waaronder kassabonnen (het is een losse laag op één zijde van het papier die bij verhitting verkleurt).

Het wordt gemaakt door een condensatiereactie tussen fenol en propanon (aceton), met gebruikmaking van een zure katalysator zoals zoutzuur (HCl). Polycarbonaat kan vervolgens worden gemaakt door een condensatiereactie met BPA en fosgeen, waarbij een base zoals natriumhydroxide (NaOH) wordt gebruikt om het zoutzuur op te vangen. Voor epoxyhars wordt BPA eerst omgezet in zijn diglycidylether (gewoonlijk afgekort tot BADGE of DGEBA). Dit wordt bereikt door een reactie met epichloorhydrine onder basische omstandigheden. Als harder worden veelal organische amines gebruikt.

Producten voor drinkwatertoepassingen (met name buizen, fittingen en coatings) waren er tot aan het begin van het huidige millennium met name op basis van BADGE en BFDGE (acroniem voor Bisfenol F DiGlycidylEther). Vanuit de Europese Unie (EU) is op 18 november 2005 de Regeling '1895/2005' van kracht geworden. Die regeling betekende een toekomstig verbod op het gebruik van de materialen BFDGE en NOGE (acroniem voor NOvolac GlycidylEther), en het stellen van een migratie-eis voor BADGE. Op grond van die regeling zijn de twee eerstgenoemde materialen ten behoeve van producten in contact met drinkwater per 1 januari 2008 verboden.

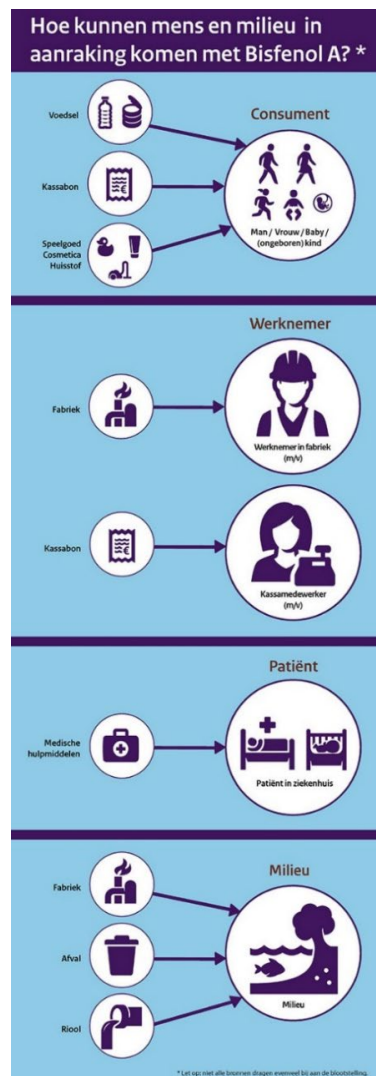
Blootstellingsroutes

Als gevolg van de brede toepassing kan BPA-blootstelling plaatsvinden via een verscheidenheid aan producten [11]. De voornaamste bronnen van BPA voor blootstelling van consumenten zijn voedingsmiddelen die in aanraking zijn gekomen met voedselverpakkingen waarin BPA is verwerkt. Het gaat onder meer om plastic materialen die worden gebruikt voor het bewaren van voedsel en dranken, plastic borden/bestek, kunststof vuurvaste schalen/potten en plastic beschermlagen in voedselverpakkingsmaterialen, waaronder blikjes en karton. Voor een aantal van deze producten zijn inmiddels BPA-vrije alternatieven beschikbaar, waardoor de blootstelling zal kunnen afnemen. Ook is er al een Europees verbod op de toepassing van BPA in flesjes voor babyvoeding. Daarnaast kan BPA via de huid in het lichaam terechtkomen vanuit thermisch papier (kassabonnen) en via cosmetica die in aanraking zijn gekomen met verpakkingsmateriaal waarin BPA is verwerkt. Speelgoed en huisstof kunnen ook bijdragen aan de blootstelling van consumenten aan BPA.

Vergeleken met consumenten kunnen werknemers die in een fabriek met BPA werken in verhoogde mate worden blootgesteld, net als winkelpersoneel dat veel met kassabonnen werkt. Patiënten in de zorg kunnen in verhoogde mate aan BPA worden blootgesteld, omdat het wordt toegepast in medische hulpmiddelen zoals infuusapparatuur, implantaten, katheters en tandheelkundige materialen.

In het RIVM-rapport uit 2018 [4] wordt uitgegaan van een gemiddelde BPA-concentratie in het drinkwater van 0,2 µg/L, waarmee drinkwater tot maximaal 8% bijdraagt aan de dagelijkse inname. Een review-artikel uit 2013 rapporteert echter dat de BPA-concentratie in Europees kraanwater meestal veel lager ligt (mediaan < 0,006 µg/L) en dat drinkwater voor maximaal 2,8% bijdraagt aan de totale blootstelling aan BPA van consumenten op basis van biomonitoring data uit urine [5].

BPA wordt zowel in de bodem als in het oppervlaktewater aangetroffen. De stof komt via (huishoudelijk) afval, het riool en lozing door fabrieken in het milieu terecht. Daarnaast kan BPA in het milieu terechtkomen doordat het langzaam vrijkomt uit materialen die bijvoorbeeld in de openbare ruimte worden gebruikt. De aanwezigheid van BPA in het milieu draagt nauwelijks bij aan de totale blootstelling aan BPA van consumenten [6].



Figuur 1 [Overzicht blootstelling BPA | RIVM.](#)

Gezondheidskundige betekenis

BPA wordt beschouwd als een toxische stof voor de lever en nieren (bij langdurige blootstelling) en is in de EU geclassificeerd als een hormoonverstoorder en schadelijk voor de voortplanting. BPA kan interfereren met het hormoonstelsel en de hormonale balans verstoren [4]. In 2015 werd op basis van gegevens van multigeneratie reproductietoxiciteitsstudies bij muizen een tijdelijke

toelaatbare dagelijkse inname (t-TDI) van 4 µg/kg lichaamsgewicht (lg) per dag vastgesteld door de Europese Autoriteit voor voedselveiligheid (EFSA) [8]. Uit berekeningen van het RIVM bleek dat zelfs onder de meest ongunstige omstandigheden de blootstelling van Nederlanders aan BPA via voedsel (inclusief drinkwater) nog 30 keer onder de TDI van 4 µg/kg lg per dag ligt [4]. Op basis hiervan worden geen schadelijke effecten te verwachten voor consumenten.

In december 2021 publiceerde de EFSA een concept 'Scientific opinion' waarin een TDI wordt vastgesteld van 0,04 ng/kg lg per dag [12]. Dit is 100.000 keer lager dan de hierboven genoemde t-TDI. De verlaging van de TDI vloeit voort uit de beoordeling van wetenschappelijke studies die tussen 2013 en 2018 uitgevoerd zijn, waarin schadelijke effecten van BPA op het immuunsysteem zijn gezien. In dierstudies werd een toename waargenomen van het aantal T-helper-cellen, een type witte bloedcellen dat een sleutelrol speelt in cellulaire immuun-mechanismen en dat bij verhoging kan leiden tot de ontwikkeling van allergische longontsteking. Door de nieuwe TDI te vergelijken met de geschatte blootstelling van consumenten aan BPA in de voeding, concludeert de EFSA dat aangenomen kan worden dat zowel de gemiddelde als de hoge blootstelling aan BPA in alle leeftijdsgroepen de nieuwe TDI overschrijdt, wat wijst op mogelijke gezondheidsrisico's. Ook de in 2018 door het RIVM geschatte blootstelling van Nederlanders aan BPA overschrijdt deze nieuwe TDI. Nadere evaluatie van de concept beoordeling door EFSA zal moeten uitwijzen of er inderdaad mogelijke gezondheidsrisico's voor consumenten door blootstelling aan BPA kunnen ontstaan. In het geval deze verder beoordeling op de standaardwijze wordt gebruikt om een drinkwaterrichtwaarde af te leiden (20% bijdrage, 70 kg en 2 liter per dag), leidt dit tot een waarde van 0,28 ng/l. Gezien de discussie is dit vooralsnog echter niet aan de orde.

De concentraties BPA in zoet en zout water liggen gemiddeld lager dan de blootstellingsniveaus waarbij volgens de huidige milieukwaliteitsnorm (64 µg/l [13]) voor waterorganismen nadelige effecten kunnen worden verwacht. In de waterbodem zijn op verschillende plekken in Europa wel concentraties BPA aangetroffen die een negatief effect kunnen hebben op organismen die in en op deze bodem leven.

Normen en richtlijnen verklaard

In het Drinkwaterbesluit is er geen norm voor BPA opgenomen en de WHO heeft hiervoor geen gezondheidkundige richtlijn bepaald. Wel staat BPA op ZZS-lijst [9]. In de Europese Drinkwaterrichtlijn is een parameterwaarde voor BPA van 2,5 µg/l opgenomen. Deze richtlijn is sinds 12 januari 2021 van toepassing en moet uiterlijk op 12 januari 2026 in de Europese lidstaten zijn omgezet in nationale wetgeving. De Europese Commissie is bevoegd om over te gaan tot wijziging van de parameterwaarde van BPA, voor zover dit nodig is om deze aan de wetenschappelijke en technische vooruitgang aan te passen, hoofdzakelijk op basis van de lopende evaluatie door EFSA.

Aanwezigheid in drinkwater(bronnen) en monitoring

Er is vanuit de publiekrechtelijke regelgeving voor drinkwater vooralsnog geen verplichting voor het meten van BPA in (bronnen voor) drinkwater. Voor BPA aan het tappunt zijn er (dus) geen data beschikbaar. In ruwwater is/wordt door de drinkwaterbedrijven wel gemeten.

Tussen 2016 en 2020 is BPA in ruw oppervlaktewater over de jaren gemiddeld in 96,7% van de gerapporteerde winpunten aangetroffen. Er is geen trend in dit percentage. Per jaar worden er slechts enkele (1 – 6) winpunten bemeten. De rapportagegrens ligt tussen de 0,005 en 0,030 µg/l. De mediaanconcentratie (0,016 µg/l) ligt beneden de hoogste rapportagegrens. De maximum gemeten concentratie is 0,23 µg/l (2019).

Tussen 2018 en 2020 is BPA in ruw grondwater uitsluitend in 2018 aangetroffen in twee van de 114 gerapporteerde winpunten (1,7%). De rapportagegrens ligt tussen de 0,005 en 0,1 µg/l. De mediaanconcentratie ligt op de hoogste rapportagegrens. De maximum gemeten concentratie is 0,65 µg/l (2018).

Al deze gemeten concentraties BPA zijn lager dan de parameterwaarde volgens de Europese Drinkwaterrichtlijn, terwijl gegevens over de metingen in drinkwater bij

drinkwaterproductielocaties of aan het tappunt vooralsnog ontbreken. Het is de verwachting dat meer meetgegevens zullen volgen vanuit de vermelding van deze parameter in de herziene Europese Drinkwaterrichtlijn.

Zuivering

BPA is in een conventionele zuivering (coagulatie/flocculatie/sedimentatie, in combinatie met beluchting of het toevoegen van een vlokmiddel) beperkt te verwijderen [10]. Hiervoor zijn geavanceerdere zuiveringstechnieken nodig.

Filtratie over granulaire actieve kool of toepassing van poederkool is wel een effectieve methode om BPA uit water te verwijderen. Een andere optie is een oxidatieproces zoals ozonisatie of geavanceerde oxidatie (als UV/H₂O₂ of O₃/H₂O₂), waarmee BPA goed kan worden afgebroken. Tot slot kan membraanfiltratie een oplossing zijn. Hierbij kan worden gedacht aan nanofiltratie (bij gebruik van vrij 'dichte' membranen) of omgekeerde osmose. In al deze gevallen is een verwijdering van minstens 80% haalbaar [7, 10].

Aanvullende informatie

Zie de RIVM-website Risico van Stoffen: [bisfenol A | Risico's van stoffen \(rivm.nl\)](#)

Referenties

- [1] Vogel, S. A. (2009); The politics of plastics: the making and unmaking of bisphenol a "safety". Am. J. Public Health, 99, S559–S566. <https://doi.org/10.2105/ajph.2008.159228>.
- [2] Gerona, R., vom Saal, F. S., Hunt, P. A. (2020): BPA: have flawed analytical techniques compromised risk assessments? Lancet Diab. Endocrin. 8, 11–13. [https://doi.org/10.1016/S2213-8587\(19\)30381-X](https://doi.org/10.1016/S2213-8587(19)30381-X).
- [3] [bisphenol A | C15H16O2 - PubChem \(nih.gov\)](#).
- [4] Boon, P. E., te Biesebeek, J. D., Brants, H., Bouwmeester, M. C., Hessel, E. V. S. (2018): Dietary sources of exposure to Bisphenol A in the Netherlands. RIVM letter report 2017-0187. RIVM, Bilthoven.
- [5] Arnold, S. M., Clark, K. E., Staples, C. A., Klecka, G. M., Dimond, S. S., Caspers, N., Hentges, S. G. (2013). Relevance of drinking water as a source of human exposure to bisphenol A. J. Exp. Sci. Env. Epidem. 23, 137-144.
- [6] <https://www.rivm.nl/bisfenol-a-bpa>.
- [7] Sorlini, S., Collivignarelli, M.C., Miino, M.C. (2019): Technologies for the control of emerging contaminants in drinking water treatment plants. Env. Eng. Man. J. 18, 2203-2216.
- [8] EFSA Panel on Food Contact Materials, Enzymes, Flavourings and Processing Aids (CEF). (2015): Scientific opinion on the risks to public health related to the presence of bisphenol A (BPA) in foodstuffs. EFSA Journal, 13, 3978.
- [9] <https://rvszoeksysteem.rivm.nl/Stoffen>.
- [10] Chen, H.W. Liang C.H., Wu Z.M., Chang E.E., Lin T.F., Chiang P.S., Wang G.S. (2013): Occurrence and assessment of treatment efficiency of nonylphenol, octylphenol and bisphenol-A in drinking water in Taiwan. Science of the Total Environment 449 (2013) 20-28
- [11] [Bisfenol A | Waarzitwatin | Rijksoverheid](#)
- [12] [Bisphenol A: EFSA draft opinion proposes lowering the tolerable daily intake | EFSA \(europa.eu\)](#)
- [13] https://rvs.rivm.nl/sites/default/files/2022-06/Pdf_normen_Waterdienst_8-6-2022.pdf

● Boor

Grondslag norm: gezondheidkundig

Drinkwaterbesluit 2011: maximum waarde 1,5 mg/l (met de opmerking: 'Er wordt een parameterwaarde van 2,4 mg/l toegepast wanneer ontzilt water de voornaamste bron van het betrokken watervoorzieningssysteem is, of in regio's waar de geologische omstandigheden tot hoge concentraties in het grondwater kunnen leiden.')

WHO 2017: richtwaarde 2,4 mg/l

EU Drinkwaterrichtlijn 2020: parameterwaarde 1,5 mg/l (met de opmerking: 'Er wordt een parameterwaarde van 2,4 mg/l toegepast wanneer ontzilt water de voornaamste bron van het betrokken watervoorzieningssysteem is, of in regio's waar de geologische omstandigheden tot hoge concentraties in het grondwater kunnen leiden.')

Herkomst

De natuurlijke concentraties boor in grond- en oppervlaktewater zijn laag en voornamelijk afkomstig van de uitloging van gesteentes en bodems die boraten en/of boorsilicaten bevatten. De lozing van huishoudelijk afvalwater met boorverbindingen uit wasmiddelen draagt vaak bij aan de stijging van de concentraties boor in oppervlaktewater, hoewel deze bijdrage al jaren afneemt [1]. Boorzuur en boraten worden gebruikt in de glasindustrie, zeep en wasmiddelen, brandvertragers en nucleaire installaties (neutronenafvangers). Boorzuur, boraten en perboraten worden gebruikt in milde antiseptica, cosmetische producten, medicijnen (als pH-buffer), bestrijdingsmiddelen en kunstmest [1].

De oceanen bevatten het merendeel van het op de aarde aanwezig boor, met een concentratie van gemiddeld 4,5 mg/l [1].

Blootstellingsroutes

De mens wordt het meest aan boor blootgesteld via voedsel (fruit, groenten, noten en peulvruchten). Melkproducten, vis, vlees en de meeste graansoorten bevatten weinig boor. De blootstelling aan boor via de lucht is verwaarloosbaar [1]. Uitsluitend in het geval van een hoge concentratie boor (> 1 mg/l) kan drinkwater evenveel bijdragen aan de blootstelling als voedsel. De blootstelling aan boor uit consumentenproducten wordt geschat op 0,1 mg per dag. De geschatte totale blootstelling aan boor ligt wereldwijd tussen de 1,5 en 2,0 mg per dag [1].

Gezondheidkundige betekenis

De concentraties waarin boor wordt aangetroffen in Nederland leiden niet tot blootstellingen aan boor die van gezondheidkundige betekenis zijn. De meest voorkomende symptomen na de inname van een zeer hoge dosis boor (> 1 g/l) zijn maagdarfstoornissen zoals overgeven, darmkrampen, misselijkheid en diarree. Minder voorkomende symptomen zijn effecten op het centrale zenuwstelsel en de huid zoals lusteloosheid, huiduitslag, hoofdpijn, koorts en spierkrampen. Mogelijk heeft boor een positief effect op het metabolisme en gebruik van fysiologische componenten die een rol spelen bij de stofwisseling (calcium, magnesium, koper en nitraat). Het precieze mechanisme daarvan is nog onbekend [1].

Normen en richtlijnen verklaard

In de afgelopen jaren is boor verscheidene keren opnieuw geëvalueerd door de WHO. In 1998 is een voorlopige WHO-richtlijnwaarde van 0,5 mg/l vastgesteld. In 2009 is deze voorlopige richtlijn herzien. Op basis van gegevens uit het Verenigd Koninkrijk en de Verenigde Staten over de inname van boor via andere bronnen dan water blijkt dat deze erg laag is. De toegestane bijdrage van drinkwater aan de totale blootstelling is daarom verhoogd naar 40%. Dit leidt tot een richtlijnwaarde van 2,4 mg/l. Deze waarde is moeilijk haalbaar in gebieden waarin van nature hoge concentraties boor voorkomen en dus afhankelijk zijn van ontzoutingstechnieken in de zuivering c.q. bij de bereiding van drinkwater.

De WHO geeft daarom aan dat de lokale regelgevende instanties hogere concentraties boor in drinkwater kunnen toestaan, rekening houdend met blootstelling uit andere bronnen [2]. In de Europese Drinkwaterrichtlijn en het Drinkwaterbesluit is een parameterwaarde respectievelijk maximum waarde van 1,5 mg/l opgenomen (met een opmerking, zie boven).

Aanwezigheid in drinkwater(bronnen) en monitoring

Volgens de Drinkwaterregeling moet boor na de laatste zuiveringsstap of aan het tappunt in drinkwater worden gemeten. Bij oppervlaktewater als bron moet ook in het ruwe water worden gemeten.

Tussen 2015 en 2020 wordt boor in drinkwater uit grondwater bij gemiddeld 90% van de meetlocaties aangetroffen. De rapportagegrens varieert van 5 tot 20 mg/l. Voor drinkwater uit oppervlaktewater is dit 100%. De rapportagegrens is hier 5 mg/l. De mediaanconcentratie is 22 mg/l bij grondwater als bron en 47 mg/l bij oppervlaktewater als bron. De hoogste waarde gemeten in drinkwater uit grondwater is over de jaren heen jaren 215 mg/l tot 480 mg/l. Voor oppervlaktewater als bron is dit lager (rond de 70 mg/l) met een uitschieter naar 180 mg/l in 2019. In ruw oppervlaktewater wordt boor altijd aangetroffen boven de rapportagegrens. De mediaanconcentratie is hier tussen 2015 en 2020 45,6 mg/l en de maximale concentratie ligt vrij stabiel rond de 75 mg/l.

Overschrijdingen van de maximum waarde voor boor worden door ILT niet vermeld in de rapportages van 2015 tot en met 2021.

Zuivering

Boor wordt niet goed verwijderd met traditionele zuiveringsmethoden zoals coagulatie, bezinking en filtratie. Verlaging van de concentratie is mogelijk door ionenwisseling of omgekeerde osmose (RO). Deze technieken zijn echter kostbaarder. De enige betaalbare en praktische methode is het mengen met water met lage concentratie boor [1].

Referenties

[1] WHO. (2009). Boron in Drinking-Water. Background document for development of WHO *Guidelines for Drinking-water Quality*. WHO/HSE/WSH/09.01/2. WHO, Genève.
[Microsoft Word - Fourth Edition Boron Final January 2010.doc \(who.int\)](#)

[2] WHO Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first and second addenda. Geneva: World Health Organization; 2022.
[9789240045064-eng \(2\).pdf](#)

• Broomaat

Grondslag norm: gezondheidkundig

Drinkwaterbesluit 2011: maximum waarde: 1,0 µg/L, indien desinfectie 5 µg/L (als 90-percentiel, met een maximum van 10 µg/L)

WHO 2017: voorlopige richtwaarde 10 µg/L

Europese Drinkwaterrichtlijn 2020: parameterwaarde 10 µg/L

Herkomst

Broomaat (BrO_3) is een bijproduct bij de oxidatie van bromide-houdend water² met ozon [1] en komt van nature niet vrij in het water voor (wiki bromaat). Als het in oppervlaktewater wordt gevonden, is het afkomstig van industriële lozingen of het gevolg van de aanwezigheid in verontreinigde bodems [1].

Kaliumbroomaat is een broodverbeteraar die vroeger werd toegevoegd aan meel en bloem, omdat het een glutenversterkend effect had. De broden kregen hierdoor meer volume. Kaliumbroomaat is sinds 1990 in Europa verboden als voedseladditief en wordt in Nederland al vanaf 1983 niet meer gebruikt vanwege de toxische en mogelijk kankerverwekkende eigenschappen. Buiten Europa is in sommige landen deze stof nog steeds toegestaan als broodverbeteraar, zoals in de Verenigde Staten [3, 4]. In de VS wordt kaliumbroomaat soms toegevoegd aan gerstemout in het productieproces van bier. Volgens de regelgeving in de VS dient dit dan op het eindproduct te worden vermeld [5].

Blootstellingsroutes

Voor de meeste mensen is de blootstelling aan bromaat gering [6]. Als bij de bereiding van drinkwater oxidatie met ozon plaatsvindt, kunnen consumenten via drinkwater worden blootgesteld aan bromaat als dit is bereid uit bromidehoudend water [7].

Gezondheidkundige betekenis

Broomaat is een 'Zeer Zorgwekkende Stof' [8].

Het RIVM heeft aan de hand van de gezondheidkundige risicogrens van 0,005 µg/kg lichaamsgewicht per dag, een lichaamsgewicht van 70 kg, een allocatiefactor van 80% en een dagelijkse drinkwaterinname van 2 L een drinkwaterrichtwaarde berekend van 0,14 µg/L, uitgaande van een beschermingsniveau van 1 op 10⁶ per leven. De huidige maximum waarde van 1 µg/L voor drinkwater komt overeen met een additioneel kankerrisico van 1 op 140.000 per leven. Het is echter mogelijk om bij het vaststellen van normen af te wijken van het gewenste beschermingsniveau, als dat bijvoorbeeld om technische redenen niet haalbaar is [7].

Er zijn veel proefdierstudies uitgevoerd naar acute toxiciteit en de toxiciteit op de middellange en lange termijn. De WHO heeft deze studies samengevat en concludeert hieruit dat bromaat een mutagene stof is die bij dieren kanker veroorzaakt. Er kan niet met zekerheid kan worden vastgesteld of uitgesloten of de stof ook daadwerkelijk kankerverwekkend is voor de mens, omdat het mechanisme van de kankervorming door bromaat niet helemaal wordt begrepen. Broomaat kan ook nierbeschadigingen en gehoorstoornissen veroorzaken bij mensen [9].

Normen en richtlijnen verklaard

In het Drinkwaterbesluit (Tabel II) zijn voor bromaat twee maximum waarden opgenomen. Als er

² **Bromiden** zijn de zouten van het element broom en komen net als andere zouten (bijvoorbeeld chloriden) van nature in opgeloste vorm in praktisch alle wateren voor. De hoogste concentraties worden in zeewater gevonden (65 – 85 mg/L), maar ook in zoet water worden bromiden aangetroffen in concentraties tot 0,5 mg/L [1]. Hoe hoger de concentratie bromide in het ruwe water des te hoger de gevormde hoeveelheid bromaat [1].

geen desinfectie met behulp van ozon plaatsvindt, bedraagt de maximum waarde 1 µg/L. In het geval er met ozon wordt gedesinfecteerd, mag het 90-percentiel van de metingen niet meer bedragen dan 5 µg/L en de concentratie in drinkwater mag niet hoger zijn dan 10 µg/L. Dit verschil in maximum waarde bij wel of geen desinfectie met ozon wordt veroorzaakt door het belang dat wordt gehecht aan het uitsluiten van acute gezondheidsrisico's door altijd voldoende te desinfecteren. Ozon wordt door enkele Nederlandse drinkwaterbedrijven ook gebruikt voor de oxidatie van antropogene stoffen. De streefwaarde die deze bedrijven hanteren voor bromaat bedraagt 1 µg/L, die niet altijd wordt gehaald (zie onder). Bij andere Nederlandse drinkwaterbedrijven is ozondesinfectie vervangen door UV-desinfectie.

De WHO handhaaft de voorlopige richtlijn van 10 µg/L uit 2003 [1]. Gezondheidskundig gezien zou de WHO een iets lagere waarde willen adviseren, maar vanwege de soms onnauwkeurige meetmethoden én soms beperkte zuiveringsmethoden is ervoor gekozen om 10 µg/L te handhaven [1]. Bij deze overwegingen speelt het belang van het bestrijden van acute gezondheidsproblemen door pathogene micro-organismen en virussen een belangrijke rol. Die leiden in een groot deel van de wereld jaarlijks tot veel sterfgevallen. In de Europese Drinkwaterrichtlijn is voor bromaat een grenswaarde van 10 µg/L opgenomen. Deze is gehandhaafd in de herziene versie van 2020.

Aanwezigheid in drinkwater(bronnen) en monitoring

Volgens de Drinkwaterregeling dient bromaat te worden gemeten in ruwwater bij het gebruik van oppervlaktewater. Voor het tappunt geldt volgens die ministeriële regeling een meetverplichting als die stof bij de toegepaste desinfectie- of oxidatietechniek kan worden gevormd.

In de periode 2015 – 2020 is bromaat in ruw oppervlaktewater in gemiddeld 46% van de gerapporteerde locaties minstens eenmaal per jaar boven de rapportagegrens (0,1 – 0,5 µg/L) aangetoond. De jaarmediaan was altijd lager dan 0,5 µg/L. Het maximum in deze periode bedroeg 7,1 µg/L (2016). In andere jaren lag het gemeten maximum rond de 1,3 µg/L. Er is geen op- of neergaande trend vastgesteld.

Bij de toepassing van ozon als desinfectie- en/of oxidatiemiddel is bromaat in hogere mate toegestaan. In het drinkwater van twee drinkwaterbedrijven die ozon (wel of niet in combinatie met peroxide) toepassen, te weten Waternet en Dunea met een proefinstallatie op een deelstroom, was bromaat in het drinkwater op 47% van de gerapporteerde locaties minstens eenmaal per jaar boven de rapportagegrens (0,5 µg/L) aangetoond (2015 – 2020). De jaarmediaan was in periode 2015 – 2018 altijd boven de rapportagegrens en bedroeg ongeveer 1,1 µg/L terwijl de gemiddelde concentratie bromaat gerapporteerd is over die jaren met de waarde 1,03 µg/L. Het maximum bedroeg 4,5 µg/L (2020). Er is geen trend vastgesteld.

Bij gebruik van ozon als desinfectie- of oxidatiemiddel is de concentratie bromide in het ruwwater van belang. De vorming van bromaat door omzetting van bromide kan verlaagd worden door het zuiveringsproces aan te passen (zie hieronder), maar de vorming van bromaat kan nooit volledig worden onderdrukt. De beste garantie voor een minimale vorming van bromaat is dan ook het beperken van de concentratie bromide in de bron, bij voorkeur minder dan 70 µg/L [8] en bij voorkeur zelfs minder dan 50 µg/L. De Maas heeft relatief hoge concentraties bromide, wat de aanleiding vormde voor meetcampagnes in 2010 en 2012 in het gehele stroomgebied van de Maas [8, 9]. Uit deze meetcampagnes blijkt dat de natuurlijke achtergrondbelasting 30% van de totale vracht aan bromide in de Maas bedraagt (600 kg/dag). Uit antropogene bronnen komt daar 1.200 kg/dag bij, waarvan ongeveer 1.000 kg/dag kan worden verklaard door vier grote lozingen in Nederland en België (9). Meer informatie over de concentraties in Maas en Rijn staat in het Feitenoverzicht bromaat [16], terwijl meer inzicht de bronnen van bromide en bromaat nog wordt onderzocht (lopend onderzoek bij Rijkswaterstaat, 2022).

Zuivering

Bromaat is moeilijk te verwijderen met de gebruikelijke zuiveringstechnieken voor drinkwater. Uitsluitend ionenwisseling en membraanfiltratie kunnen bromaat verwijderen [8].

De vorming van bromaat uit bromide kan worden beperkt door de belasting van het ruwe water met bromide aan te pakken via het spoor van lozingsvergunningen en/of lobbywerkzaamheden. Daarnaast

kunnen procesinstellingen een rol spelen om de vorming van bromaat te beperken. Een lagere ozon dosis, kortere contacttijd en een lagere restconcentratie ozon beperken die vorming. Ozonisatie bij een pH lager dan 8 gevolgd door een pH-verhoging, reduceert de vorming van bromaat [13]. Het toevoegen van ammoniak zou ook effectief kunnen zijn [1, 8]. Het voorkómen van de vorming van bromaat kan op termijn ook worden verwezenlijkt door alternatieve technieken in te zetten voor ozonisatie. Op basis van het promotieonderzoek van Feifei Wang [9] en de analyse van de meetreeksen voor en na de AWD lijkt een grondwaterpassage kansrijk om het mogelijke probleem met bromaat goed het hoofd te kunnen bieden. Het mechanisme is gelegen in het terug reduceren onder anaerobe omstandigheden.

Referenties

- [1] World Health Organization (2022): Guidelines for drinking-water quality; Fourth edition incorporating the first and second addenda
- [2] <https://nl.wikipedia.org/wiki/Bromaat>.
- [3] <https://broodsmakelijk.nl/glossarium/nederlands/kaliumbromaat>.
- [4] <https://nl.wikipedia.org/wiki/Kaliumbromaat>.
- [5] https://en.wikipedia.org/wiki/Potassium_bromate.
- [6] <https://rvszoeksysteem.rivm.nl/Stoffen>.
- [7] Smit, C.E. (2021): Risicogrenzen voor bromaat in oppervlaktewater. Afleiding volgens de methodiek van de Kaderrichtlijn Water. RIVM-briefrapport 2021-0101
- [8] WHO (2005): Bromate in drinking water. Background document for development of WHO *Guidelines for Drinking-water Quality*. WHO/SDE/WSH/05.08/78. WHO, Genève.
<https://cdn.who.int/media/docs/default-source/wash-documents/wash-chemicals/bromate-background.pdf>
- [9] Wang, F. (2018): Managed aquifer recharge as a barrier for ozone-based advanced oxidation by-products: BrO₃⁻ and H₂O₂. PhD thesis Delft University of Technology. ISBN 978-90-6562-422-2
- [10] Volz, J. (2011): Bromide in het stroomgebied van de Maas. Resultaten van de meetcampagne in het jaar 2010. RIWA-Maas.
- [11] Volz, J. (2013): Bromidebronnen in het stroomgebied van de Maas. Een kwalitatieve en kwantitatieve verkenning. Evides Waterbedrijf, Rotterdam.
- [12] https://nl.wikipedia.org/wiki/Ig_Nobelprijs
- [13] <https://www.theguardian.com/business/2004/mar/20/medicineandhealth.lifeandhealth>
- [14] <https://en.wikipedia.org/wiki/Dasani>
- [15] Helm, A van der (2007): Integrale modellering van ozonisatie voor optimalisatie drinkwaterbereiding H₂O/23 2007 blz. 49-52.
- [16] Meerkerk M, Hofman R, Kools S, van Leerdam T, Reus A, Shakh S (2022) Feitenoverzicht bromaat. KWR rapport 2022.009

● Cadmium

Grondslag norm: gezondheidkundig

Drinkwaterbesluit 2011: maximum waarde 5 µg/l

WHO 2017: richtwaarde 3 µg/l

EU Drinkwaterrichtlijn 2020: parameterwaarde 5 µg/l

Herkomst

Cadmium komt in de natuur voor in diverse ertsen, waaronder sulfiet- en fosfaaterts. De stof wordt in de metaalindustrie gebruikt om staal corrosiebestendig te maken. Cadmiumsulfide en -selenide worden in de plasticindustrie gebruikt als pigment (respectievelijk lichtgeel tot bruin en dieprood). Cadmium wordt ook gebruikt in elektrische batterijen, elektronica-componenten en kernreactoren [1]. Uit fosfaaterts geproduceerde kunstmest is een belangrijke bron van diffuse cadmiumverontreiniging. In natuurlijke wateren wordt cadmium voornamelijk in het bodemsediment en in de zwevende stof aangetroffen [1].

In Nederland worden hoge concentraties cadmium voornamelijk in de zandgronden gevonden, zowel in landelijk als stedelijk gebied. Mogelijke oorzaak hiervan in landelijk gebied is bemesting. Een andere oorsprong van cadmium in grondwater (zowel in landelijk als in stedelijk gebied) is depositie vanuit de industrie van vroeger, zoals zinksmelterijen. Zware metalen zoals cadmium zijn immobiel en spoelen niet zomaar uit. Zelfs tientallen jaren na depositie vanuit de industrie wordt cadmium nog in het ondiepe en middeldiepe grondwater aangetroffen [2]. De achtergrondconcentratie van cadmium in water bedraagt 0,08 µg/l [3].

Voorheen was de bijdrage vanuit het buitenland aan de cadmiumbelasting in Nederland via de grote rivieren en luchtverontreiniging aanzienlijk. In de tachtiger jaren is deze bijdrage echter afgenomen, wat een significante verlaging van de belasting in Nederland heeft veroorzaakt. Zo vormt de concentratie cadmium in Maaswater al decennia geen enkel probleem meer voor de drinkwaterbereiding uit oppervlaktewater [4].

Verontreiniging van drinkwater kan ook worden veroorzaakt door onzuiverheden van zink in gegalvaniseerde buizen en soldeer (voornamelijk in woninginstallaties) [1].

Blootstellingsroutes

Verreweg de belangrijkste bron van blootstelling aan cadmium is de voeding. De nieren en lever concentreren cadmium. De gehalten in nieren en lever variëren van 100 tot 1.000 µg/kg respectievelijk 10 tot 100 µg/kg, terwijl de gehalten in fruit, vlees en groenten meestal lager zijn: 10 µg/kg. De totale dagelijkse inname via de voeding wordt geschat op 10 tot 35 µg per persoon [1]. De blootstelling via drinkwater is meestal lager dan 2 µg per dag [1]. In Nederland is dat nog veel lager (zie hieronder 'Aanwezigheid in drinkwater(bronnen) en monitoring').

Het roken van sigaretten is een significante bron van extra blootstelling aan cadmium [1].

Gezondheidkundige betekenis

Zelfs in zeer lage concentraties zijn metallisch cadmium en cadmiumverbindingen uiterst giftig, mede omdat ze accumuleren in organismen en ecosystemen. Geïnhaleerde dampen van cadmium kunnen grote schade aanrichten in de nieren en luchtwegen met fatale gevolgen. Via orale toediening kan cadmium schade aanrichten in de lever en nieren [5]. Er is bewijs dat cadmium kankerverwekkend is als het wordt ingeademd. Er is geen bewijs dat cadmium kankerverwekkend is via de orale route en er is geen duidelijk bewijs dat cadmium genotoxisch is [1].

Een berucht voorbeeld van massale vergiftiging met cadmium speelde vanaf 1912 in de Japanse prefectuur Toyama. Veel bewoners leidden aan de itai-itai-ziekte, dat uit het Japans vertaald kan worden als 'pijn-pijn'-ziekte. Jarenlange mijnbouwactiviteiten voor de winning van zilver, lood, zink en goud leidden tot een decennialange, grootschalige cadmiumverontreiniging van de Jinzūrivier

en zijrivieren. Het gehele ecosysteem werd volgepompt met cadmium met accumulatie van cadmium in de voedselketen, verontreinigd irrigatiewater voor de rijstvelden en verontreinigd drinkwater als gevolg. Het heeft 55 jaar geduurd voordat de oorzaak van de voortdurende gezondheidsklachten (rug- en gewrichtspijn en osteoporose) werd achterhaald [6].

Normen en richtlijnen verklaard

In 1993 heeft de WHO een voorlopige toelaatbare wekelijkse inname (TWI) vastgesteld van 7 µg/kg lichaamsgewicht op basis van effecten op de nieren in de mens. Een bijdrage van drinkwater aan de totale inname van cadmium van 10% en een consumptie van 2 liter drinkwater per dag resulteert in een richtwaarde in drinkwater van 3 µg/l. Onderzoek van de JECFA (Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives) in 2000 en 2011 heeft niet tot een verandering in deze richtwaarde geleid [1].

De maximum waarde voor cadmium in het Drinkwaterbesluit is 5 µg/l. In 1993 is voorgesteld die waarde te verlagen naar 3 µg/l [7], maar dat advies is niet overgenomen. Voor ons land zou het voldoen aan de richtwaarde van 3 µg/l van de WHO overigens geen probleem zijn, omdat zelfs de hoogste concentratie cadmium die de laatste jaren in Nederlands drinkwater is gemeten, veel lager is.

Aanwezigheid in drinkwater(bronnen) en monitoring

Cadmium moet volgens de Drinkwaterregeling aan het tappunt worden gemeten en in het geval oppervlaktewater als bron wordt gebruikt ook in het ruwe water.

Tussen 2015 en 2020 wordt cadmium aan de tap op rond de 34% van de locaties aangetroffen wanneer de bron oppervlaktewater is. Voor locaties met als bron grondwater is dit minder: rond de 7% van de locaties, maar wel 43% in 2020. Dit hoge percentage kan (mede) zijn veroorzaakt door een verlaagde rapportagegrens (van 0,1 naar 0,05 en zelfs 0,02 µg/l). De mediaanconcentraties liggen zowel voor oppervlaktewater als grondwater als bron elk jaar onder de rapportagegrens. Maxima liggen per jaar tussen de 0,06 en 0,22 µg/l met een uitschieter van 1,37 µg/l in 2016 voor tapwater met oppervlaktewater als bron. Voor grondwater als bron is dit vergelijkbaar: tussen de 0,10 en 0,21 µg/l, met een uitschieter van 0,41 µg/l in 2017. In ruw oppervlaktewater wordt cadmium op 47% van de meetlocaties aangetroffen. De trend is dat dit percentage daalt over de jaren. De mediaanconcentratie is ook in ruw oppervlaktewater onder de rapportagegrens. De maximum gemeten concentratie in ruw oppervlaktewater ligt door de jaren heen tussen de 0,08 en 0,79 µg/l.

Door ILT zijn (dus) geen overschrijdingen van de maximum waarde voor cadmium gemeld over de jaren 2015 – 2021.

Zuivering

Tijdens de reguliere zuivering van oppervlaktewater met coagulatie/flocculatie en filtratie wordt 60% tot 80% van het cadmium verwijderd [8]. In het geval bodeminfiltratie of opslag in een bekken plaatsvindt, liggen genoemde verwijderingspercentages nog hoger.

Referenties

[1] WHO. (2011). Cadmium in Drinking-Water. Background document for development of WHO *Guidelines for Drinking-water Quality*. WHO/SDE/WSH/03.04/80/Rev/1. WHO, Genève.

[Microsoft Word - Cadmium.doc \(who.int\)](#)

[2] <https://www.rivm.nl/landelijk-meetnet-grondwaterkwaliteit/resultaten/cadmium>.

[3] Maas, H., ten Hulscher, D. (2019). Achtergrondconcentraties voor metalen in Nederland. Toelichting voor de wetenschappelijke klankbordgroep Normstelling. RWS-WVL.
<https://rws.rivm.nl/sites/default/files/2020-04/Achtergrondconcentraties-metalen.pdf>

[4] Volz, J., Ketelaars, H.A.M., Wagenvoort, A.J., (2002). 50 jaar Maaswaterkwaliteit – een overzicht. H₂O 3: 21-26.

[5] <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Cadmium>



[6] [Itai-Itai disease and the countermeasures against cadmium pollution by the Kamioka mine | SpringerLink](#)

[7] Van Dijk-Looijaard, A.M. (1993). Herziening Normen Waterleidingbesluit. SWO 92.294. KIWA, Nieuwegein.

[8] <https://www.bodemrichtlijn.nl/Bibliotheek/bodemsaneringstechnieken/e-verwerken-van-bij-bodemsan8950/e12-technieken-naar-aard-van-de-verontreiniging/grondwaterzuivering-zware-metalen>.

● Campylobacter

Grondslag norm: gezondheidskundig

Drinkwaterbesluit 2011: voorlopige grenswaarde bij gebruik van oppervlaktewater: één infectie per 10.000 personen per jaar, te bepalen door het opstellen van een risicoanalyse en het daaruit berekende theoretische infectierisico

WHO 2022: geen richtwaarde (10^{-6} DALY per jaar correspondeert met een concentratie in drinkwater van $1,05 \times 10^{-4}$ /l)

EU Drinkwaterrichtlijn 2020: geen vermelding

Herkomst

Campylobacter is een gram-negatieve spiraalvormige bacterie met een flagel die voorkomt in de darmen van mensen en dieren. Er zijn meerdere soorten bekend, waarvan de meest voorkomende *Campylobacter jejuni* en *Campylobacter coli* zijn. *C. jejuni* komt voor in een groot aantal dieren en *C. coli* komt met name in varkens en kippen voor [1, 2].

Oppervlaktewater en ondiep grondwater kunnen zijn verontreinigd met *Campylobacter* [2] afkomstig van wilde dieren, landbouwhuisdieren of rioolwater.

Blootstellingsroutes

Dieren met diarree kunnen de bacterie in grote hoeveelheden met de ontlasting uitscheiden, alhoewel dieren de bacterie ook bij zich kunnen hebben en uitscheiden zonder zelf ziek te zijn. Mensen worden ziek door de inname van verontreinigd voedsel of door directe verontreiniging als gevolg van contact met dieren (met name pluimvee en jonge honden en katten). Bij onvoldoende keukenhygiëne kan kruisbesmetting optreden van rauw of onvoldoende verhit voedsel met andere levensmiddelen. Directe overdracht van mens op mens speelt slechts een beperkte rol [2]. Inname van verontreinigd oppervlaktewater tijdens het zwemmen of anderszins kan tot ziekteverschijnselen leiden. *Campylobacter*-bacteriën worden soms gevonden in (vochtige) lucht in bijvoorbeeld slachterijen. Voor slachthuispersoneel kan dat een blootstellingsroute zijn [2]. In Nederland is drinkwater uitsluitend bij grote uitzondering een blootstellingsroute. Wereldwijd gezien is drinkwater wel een belangrijke blootstellingsroute voor met name jonge kinderen [3]. De belangrijkste oorzaken van door drinkwater veroorzaakte epidemieën zijn het gebruik van niet of onvoldoende gedesinfecteerd oppervlaktewater en fecale verontreiniging van drinkwaterreservoirs door feces van vogels [3].

Gezondheidskundige betekenis

De infectieuze dosis van *Campylobacter* is laag. Een dosis van minder dan 1.000 bacteriën kan bij geïnfecteerde personen leiden tot ziekteverschijnselen [2, 3].

Na een *Campylobacter*-infectie als gevolg van het eten of drinken van verontreinigd voedsel of water, of contact met besmette (huis)dieren duurt het 2 – 4 dagen voordat de klachten beginnen. Deze bestaan uit onder meer diarree, buikpijn (hevige buikkrampen), moeheid en koorts. De ernst van de klachten varieert van dunne ontlasting tot hevige waterige of bloederige diarree (tot meer dan tien keer per dag). De klachten duren meestal 1 tot 7 dagen en gaan vanzelf over; de koorts verdwijnt meestal binnen 72 uur. In zeldzame gevallen kunnen complicaties ontstaan: reactieve artritis (Syndroom van Reiter) of het Guillain-Barrésyndroom, beide auto-immuunziektes. De meeste ziektegevallen staan op zichzelf; epidemieën zijn in Nederland zeldzaam [2].

Normen en richtlijnen verklaard

De concentratie in drinkwater moet zo laag zijn dat niet meer dan één *Campylobacter*-infectie per 10.000 personen per jaar optreedt [4]. Als het berekende infectierisico groter is dan de genoemde grenswaarde, dienen er maatregelen te worden genomen om de concentratie in het drinkwater te verlagen. *Campylobacter* is een pathogeen micro-organisme dat is gekozen als referentiepathogeen

voor ziekteverwekkende bacteriën van fecale oorsprong, vanwege de relatief hoge aantallen in rioolwater en ruwwaterbronnen, in feces van vogels en andere dieren die in waterwingebieden voorkomen, en vanwege hun hoge besmettelijkheid en ziektelast. De grondslag van de parameter is gezien het bovenstaande gezondheidskundig.

Aanwezigheid in drinkwater(bronnen) en monitoring

Het drinkwaterbedrijf draagt er zorg voor dat het drinkwater op het leveringspunt en op het tappunt voldoet aan de grenswaarde voor *Campylobacter* (< 1 infectie per 10.000 personen per jaar) [4]. Bij drinkwaterwinningen uit oppervlaktewater meten drinkwaterbedrijven het voorkomen/de concentratie van *Campylobacter* in het laatste open water in het kader van het Richtsnoer AMVD [5]. Verontreiniging van het leidingnet kan optreden via wanverbindingen en terugslag, onvoldoende gesloten reservoirs, onvoldoende hygiëne bij aanleg en reparaties, en lekkage [6].

Omdat *Campylobacter* in relatief hoge concentraties in verontreinigingsbronnen (rioolwater, feces van vogels en andere dieren) kan voorkomen, is deze bacterie relatief het meest kritiek bij dergelijke verontreinigingen. In open (of onvoldoende afgesloten) reservoirs en lekke reservoirs kunnen ziekteverwekkende *Campylobacter*-bacteriën indringen via de lucht (aerosolen, stof), via vogels die drager kunnen zijn van deze bacterie en via uitspoeling van feces tijdens regenval [6]. In Nederland heeft zich één incident voorgedaan in 1981 waarbij mensen ziek zijn geworden van *Campylobacter*. Als gevolg van een verkeerde aansluiting (wanverbinding) werd fecaal verontreinigd afvalwater en rivierwater in het leidingnet geperst. Er werden 609 ziektegevallen gerapporteerd, in het merendeel maagdarmklachten. Specifieke ziekteverwekkers werden gevonden bij 44 van de 255 onderzochte patiënten. De bij dit incident geïsoleerde specifieke ziekteverwekkers waren: *Giardia* (8%), *Entamoeba histolytica* (2.3%), *Campylobacter* (5%) en *Salmonella* (1,2%) [7].

Zuivering

Zuiveringsstappen als bodempassage, langzame-zandfiltratie, ultrafiltratie en nanofiltratie, RO-membranen, ozon, chloordioxide en UV-desinfectie kunnen aantallen *Campylobacter* aanzienlijk reduceren [6, 8]. Voor *Campylobacter* wordt met actieve-koolfiltratie een beperkte verwijdering waargenomen [9]. *Campylobacter* is een fecale pathogeen die niet bestendig is tegen desinfectie. *E. coli* wordt gebruikt als indicator in het kader van de AMVD voor de verwijdering van pathogene bacteriën zoals *Campylobacter* in de zuivering [4].

Referenties

- [1] <https://www.rivm.nl/campylobacter>.
- [2] <https://lci.rivm.nl/richtlijnen/campylobacter-infecties>.
- [3] WHO. (2022). Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first and second addenda. WHO, Genève. [9789240045064-eng \(2\).pdf](https://www.who.int/publications-detail/9789240045064-eng)
- [4] Meerkerk, M. (2020). Hygiëncode Drinkwater, Deel 1: Algemeen. KWR PCD-KWR 1-1. KWR, Nieuwegein. [http://api.kwrwater.nl/uploads/2021/01/PCD-1-1-2020-\(november-2020\)-Hygienecode-Drinkwater-Deel1-Algemeen.pdf](http://api.kwrwater.nl/uploads/2021/01/PCD-1-1-2020-(november-2020)-Hygienecode-Drinkwater-Deel1-Algemeen.pdf)
- [5] Werkgroep Infectierisico. (2019). Richtsnoer Analyse Microbiologische Veiligheid Drinkwater (AMVD). Inspectie Leefomgeving en Transport, Utrecht. <https://www.ilent.nl/documenten/publicaties/2020/11/27/richtsnoer-analyse-microbiologische-veiligheid-drinkwater-amvd>.
- [6] Van Lieverloo, J.H.M., Esveld-Amanatidou, A., Hijnen, W.A.M., Groennou, J.Th. (2003). Microbiologische verontreiniging van drinkwater tijdens opslag, transport en distributie. Evaluatie en beheersing van risico's van incidentele afwijkingen en verontreinigingen. BTO 2002 130c. KWR, Nieuwegein.



[7] Huisman, J., Nobel, P.J. (1981). Enkele Epidemiologische gegevens over de gevolgen van de faecale drinkwaterverontreiniging in het Scheepvaartkwartier te Rotterdam in maart 1981. H₂O 14: 642-646.

[8] Pitkanen, T. and Hanninen, M-L. (2017). Members of the family Campylobacteraceae: *Campylobacter jejuni*, *Campylobacter coli*. In: J.B. Rose and B. Jiménez-Cisneros, (eds). Water and Sanitation for the 21st Century: Health and Microbiological Aspects of Excreta and Wastewater Management (Global Water Pathogen Project). (A. Pruden, N. Ashbolt and J. Miller (eds), Part 3: Specific Excreted Pathogens: Environmental and Epidemiology Aspects - Section 2: Bacteria), Michigan State University, E. Lansing, MI, UNESCO.
<https://doi.org/10.14321/waterpathogens.23>

[9] Hijnen, W., Suylen, T., Bahlman, J., Medema, G. (2011). Actievekoolfiltratie als barrière voor micro-organismen in drinkwaterbereiding. H₂O 08, 41-43.

● Chloor en vrij chloor inclusief trihalomethanen

Chloor:

Grondslag norm: gezondheidskundig

Drinkwaterbesluit 2011: geen vermelding

WHO 2017: richtwaarde 5 mg/L

Europese Drinkwaterrichtlijn 2020: geen vermelding

Trihalomethanen (THM's):

Grondslag norm: gezondheidskundig

Drinkwaterbesluit 2011: maximum waarde 25 µg/L (De maximum waarde geldt bij het gebruik van chloor(verbindingen) voor desinfectie; in de overige situaties geldt de maximum waarde genoemd in Tabel IIIc bij gehalogeneerde alifatische koolwaterstoffen. De gespecificeerde verbindingen zijn: chloroform, bromoform, dibroomchloormethaan en broomdichloormethaan. De concentratie broomdichloormethaan mag niet hoger zijn dan 15 µg/l. De somwaarde van 25 µg/l geldt als 90 percentiel, met een maximum van 50 µg/l.)

WHO 2017:

richtwaarde 300 µg/L voor chloroform

richtwaarde 100 µg/L voor dibroomchloormethaan

richtwaarde 60 µg/L voor broomdichloormethaan

richtwaarde 100 µg/L voor bromoform

Europese Drinkwaterrichtlijn 2020: 100 µg/L voor de som van trihalomethanen (chloroform, bromoform, dibroomchloormethaan en broomdichloormethaan)

Herkomst

Chloor wordt wereldwijd in grote hoeveelheden geproduceerd en gebruikt als desinfectie- en bleekmiddel (doorgaans in de vorm van een oplossing van de stof natriumhypochloriet in water en te onderscheiden van chloride). Het wordt veel toegepast als desinfectiemiddel in zwembaden en bij de bereiding van drinkwater uit oppervlaktewater [1]. Al meer dan 50 jaar is dit wereldwijd het meest frequent toegepaste middel voor het inactiveren van ongewenste micro-organismen in drinkwater, maar in Nederland wordt chloor voornamelijk ingezet bij calamiteiten. Chloor heeft veel bijgedragen aan het terugdringen en voorkómen van diverse infectieziekten. Een nadeel van chloor is de hoge reactiviteit met het in drinkwater aanwezige organische materiaal (meestal bestaande uit een combinatie van vooral koolstof en waterstof). Er worden dan gechloreerde stoffen zoals chloroform (= trichloormethaan) gevormd. Als er ook bromide in het water aanwezig is, worden gebromeerde stoffen zoals bromoform (= tribroommethaan) gevormd of stoffen die zowel broom als chloor bevatten. Broom en chloor behoren tot de chemische groep van de halogenen oftewel zoutvormers (naast fluor en jood) [2].

Trihalomethanen behoren tot de groep van de gehalogeneerde alifatische koolwaterstoffen. 'Gehalogeneerd' omdat er een halogeen in zit en 'alifatisch' omdat het een (al dan niet vertakte lineaire) koolstofketen betreft (en geen benzeenringen bevat; in dat geval zouden ze 'aromatisch' heten). De trihalomethanen hebben aan een keten van koolwaterstoffen steeds drie halogeen-atomen, vandaar de 'tri' in de naam.

Begin jaren zeventig werd door onderzoek van dr. J. (Joop) Rook (van het toenmalige DWL Rotterdam) duidelijk dat de aanwezigheid van veel van deze stoffen in het drinkwater vanuit gezondheidskundig oogpunt niet wenselijk was en dat de concentraties zo laag mogelijk moesten worden gehouden [3]. Dit en het feit dat chloor van invloed is op de smaak van het drinkwater heeft ertoe geleid dat de drinkwaterbedrijven in Nederland chloor als hoofddesinfectiemiddel hebben 'verbannen'. Eind 2005 is het laatste Nederlandse drinkwaterbedrijf met het gebruik van chloor als hoofddesinfectiemiddel gestopt. De concentraties trihalomethanen in het drinkwater zijn hierdoor sterk gedaald. Op enkele plaatsen wordt nog wel chloor gedoseerd om de aangroei van met name driehoeksmosselen (*Dreissena polymorpha*) en/of quaggamosselen (*Dreissena bugensis*) in ruwwatertransportleidingen te bestrijden [4, 5, 6]. De gedoseerde concentraties zijn echter laag (circa 0,5 – 0,7 mg/L), waardoor ook de concentraties aan gevormde bijproducten laag zijn: < 1,6 µg/L [6].

Trihalomethanen worden in het oppervlaktewater nauwelijks aangetoond (kleiner dan de rapportagegrens) of de concentraties daarvan zijn laag: variërend van 0,1 tot 1 µg/L.

Trihalomethanen worden nu nog veel aangetroffen in zwembaden waar het water wordt gechloord. De concentraties in zwembaden kunnen variëren van 100 – 700 µg/L.

Chloor wordt veel gebruikt als desinfectiemiddel en bleekmiddel in diverse soorten industrie zoals de pulp- en voedingsmiddelenindustrie. Ook in huishoudens wordt het veel toegepast. Gebromeerde trihalomethanen zijn in het verleden gebruikt als reagens in laboratoria, als intermediair bij de productie van organische chemicaliën en als oplosmiddel. Bromoform is in het verleden gebruikt als kalmeringsmiddel en als hoestremmend middel, maar vanaf 1976 is deze toepassing verboden [7]. Chloroform wordt voornamelijk gebruikt bij de productie van de kunststof Teflon en als oplosmiddel voor kunstharsen, en is in het verleden veel toegepast als grondstof bij de productie van chloorfluorkoolwaterstoffen (CFK's). Chloroform werd in het verleden ook als verdovingsmiddel bij operaties gebruikt.

Veel soorten zeewieren produceren chloroform. Jaarlijks komt er 600.000 ton chloroform in het milieu, waarvan 90% daarvan afkomstig is. Ook bodemschimmels kunnen chloroform produceren.

Bepaalde industrieën lozen chloroform in de atmosfeer, nadat het gebruikt is bij chemische reacties of als oplosmiddel.

Blootstellingsroutes

Blootstelling aan trihalomethanen (THM's) waaronder chloroform en gebromeerde trihalomethanen, treedt voornamelijk op in zwembaden die worden ontsmet met chloor of chloorbleekloog. Daar vindt de blootstelling aan THM's voornamelijk plaats via de huid en door inslikken van zwembadwater. Hierbij vindt 80% van de totale blootstelling plaats via absorptie door de huid [9].

Chloroform kan in voedingsmiddelen voorkomen als die zijn geproduceerd met behulp van gechloord water. In het buitenland worden soms nog geneesmiddelen verkocht die chloroform bevatten.

Gezondheidskundige betekenis

Voor chloor zijn in dierproeven geen specifieke gezondheidskundige effecten gevonden bij concentraties tot 140 mg/L drinkwater [8].

In proefdieren kunnen dibroomchloormethaan en bromoform schade veroorzaken aan de lever.

Chloroform en broomdichloormethaan kunnen bij langdurige blootstelling niertumoren veroorzaken bij ratten en muizen. Tot nu toe is er voor de mens echter onvoldoende bewijs voor de carcinogeniteit van chloroform [1]. Nederland beschouwt zowel chloroform als bromoform als een niet-genotoxische, verdacht carcinogene stof waarvoor een drempelwaarde kan worden gesteld. Broomdichloormethaan kan in proefdieren tumoren in de lever en nieren veroorzaken en wordt beschouwd als genotoxisch carcinogeen.

Voor dibroomchloormethaan is er geen overtuigend bewijs voor carcinogeniteit in de mens en beperkt bewijs voor carcinogeniteit in proefdieren.

Afweging toxische en microbiologische risico's

Sinds de publicatie van Joop Rook [3] over de op termijn nadelige gezondheidseffecten van chloordesinfectie speelt wereldwijd de vraag hoe om te gaan met het risico van toxische desinfectiebijproducten en het doel van de desinfectie: microbiologisch veilig drinkwater door het voldoende afdoden of inactiveren van pathogene micro-organismen. Dé vraag hierbij is hoe de ziekteverwekkende micro-organismen in afdoende mate kunnen worden verwijderd zonder dat er sprake is van een ontoelaatbare vorming van nevenproducten door chloordesinfectie. Gezien de directe gezondheidseffecten heeft de microbiologische kwaliteit van het water de hoogste urgentie, maar de drinkwaterbedrijven willen ook niet dat er op de lange termijn gezondheidsschade kan optreden. Dit wordt ook meegewogen in de zoektocht naar alternatieven voor de dosering van chloorbleekloog om aangroei in ruwwatertransportleidingen te voorkomen [6].

In de Europese Drinkwaterrichtlijn, waarin een somparameter voor trihalomethanen is opgenomen, wordt dit streven naar zo weinig mogelijk desinfectiebijproducten als volgt verwoord: *'Waar mogelijk streven de lidstaten, zonder dat evenwel de desinfectie in gevaar mag komen, naar een lagere parameterwaarde voor de som van de trihalomethanen'*.

In Nederland wordt geen chloor meer als hoofddesinfectiestap gebruikt. De alternatieven voor chloor (zoals ozon, lage- en middendruk-UV en UV-waterstofperoxide) produceren in het algemeen minder bijproducten en alle zuiveringen waarbij oppervlaktewater wordt gebruikt, hebben een actieve-koolfiltratiestap na de hoofddesinfectiestap zodat eventuele bijproducten kunnen worden geabsorbeerd. Het toepassen van fysische zuiveringstechnieken zoals membraan- of nanofiltratie die goed in staat zijn om de microbiologische verontreinigingen inclusief virussen te verwijderen, voorkomt dat er bijproducten worden gevormd.

In noodsituaties (microbiologische calamiteiten) is het soms nodig chemisch te desinfecteren en kan een gezondheidkundige richtwaarde voor desinfectiebijproducten tijdelijk worden overschreden. Ervan uitgaande dat het in dergelijke situaties om een kortdurende, tijdelijke overschrijding gaat, die is gebaseerd op levenslange blootstellingen, is het aannemelijk dat dit dan niet tot gezondheidkundige risico's door THM's leidt.

Normen en richtlijnen verklaard

Uit de 'kop' van deze factsheet blijkt dat in het Drinkwaterbesluit voor de som van de vier daarbij genoemde THM's een maximum waarde van 50 µg/L geldt, in het geval 'chloor(verbindingen)' voor desinfectie worden ingezet. Dat laatste is (dus, zie boven) uitsluitend bij calamiteiten het geval. Normaliter is dat niet het geval.

De WHO kent 20% van de totale dagelijkse blootstelling aan bromoform en dibroomchloormethaan toe aan drinkwater om rekening te houden met andere blootstellingsroutes. Voor beide stoffen is een richtwaarde vastgesteld van 100 µg/L.

Voor broomdichloormethaan heeft de WHO een richtwaarde afgeleid van 60 µg/L, overeenkomend met een gezondheidsrisico van 1 extra sterfgeval per 100.000 mensen bij levenslange blootstelling.

Voor chloroform kent de WHO 75% van de totale dagelijkse blootstelling toe aan drinkwater en heeft een richtlijnwaarde afgeleid van 200 µg/L.

In de Europese Drinkwaterrichtlijn (2020) is een parameterwaarde opgenomen van 100 µg/L voor de som van vier trihalomethanen (chloroform, bromoform, dibroomchloormethaan en broomdichloormethaan).

Voor chloroform (trichloormethaan) heeft het RIVM een gezondheidkundige richtwaarde van 25 µg/L afgeleid [9], die minder streng is dan de jaargemiddelde milieukwaliteitseis voor oppervlaktewater van 2,5 µg/L, gelijk aan de somparameter in het Drinkwaterbesluit en strenger dan de somparameter in de Europese Drinkwaterrichtlijn. Voor bromoform is in 2018 door KWR een voorlopige indicatieve gezondheidkundige richtwaarde berekend van 100 µg/L [14]. Voor bromoform, broomdichloormethaan en dibroomchloormethaan zijn de maximaal toelaatbare risiconiveaus voor oppervlaktewater respectievelijk 11,3 µg/L, 0,051 µg/L en 0,11 µg/L [10] en daarmee ook veel lager dan de maximum waarde voor THM's in drinkwater.

Aanwezigheid in drinkwater(bronnen) en monitoring

Trihalomethanen worden in het oppervlaktewater vaak niet aangetoond (kleiner dan de rapportagegrens) of de concentraties zijn laag: variërend van 0,1 tot 1 µg/L.

Gezien het feit dat 'chloor(verbindingen)' uitsluitend bij calamiteiten worden ingezet, is er voor vrij chloor geen meetverplichting.

Ten aanzien van trihalomethanen is in de Drinkwaterregeling vermeld dat er uitsluitend een meetverplichting is voor het tappunt in het geval er wordt gedesinfecteerd met chloor of als de inspecteur van ILT daartoe aanleiding ziet. In het ruwe water moeten de gehalogeneerde alifatische koolwaterstoffen (waaronder de THM's vallen) volgens de auditfrequentie worden gemeten.

Tussen 2015 en 2020 zijn trihalomethanen in gemiddeld 10% van de winpunten hoger dan de rapportagegrens (0,03 – 0,1 µg/L) aangetoond. Er is geen trend in dit percentage vastgesteld. De mediaan van individuele stoffen was altijd lager dan de rapportagegrens. De maximale concentratie voor de 'som trihalomethanen' bedroeg 15,0 µg/L [12]. De hoogste meting voor een individuele stof was 6,5 µg/L voor trichloormethaan.

Zuivering

Bij desinfectie van natuurlijk water met chloor (chlooring) worden ongewenste desinfectiebijproducten als THM's gevormd [3]. De vorming van THM's kan worden beperkt door verwijdering van DBPC ('desinfection by-product precursors') voorafgaand aan de chlooring [11].

THM's zijn vluchtige stoffen waarvan de concentratie met 40 – 80% kan worden verlaagd door beluchting. Ook actieve-koolfiltratie verlaagt de concentratie met 40 – 80% [9].

Referenties

- [1] World Health Organization (2022): Guidelines for drinking-water quality; Fourth edition incorporating the first and second addenda
- [2] <https://nl.wikipedia.org/wiki/Halogeen>
- [3] Rook, J.J. (1974): Formation of halogens during chlorination of natural waters. J. Water Treat. Exam., 23, 234-243.
- [4] Ketelaars, H.A.M. & Wagenvoort A.G. (1995): Control of *Dreissena* biofouling by the Water Storage Corporation Brabantse Biesbosch J Water SRT Aqua 44, 97-101.
- [5] Verschoor, A.M. (2019): Effecten van invasieve schelpdieren op drinkwaterproductie en - distributie. BTO 2019.046. KWR, Nieuwegein.
- [6] van Mook, J. (2014): *Dreissena*-mosselen bij Evides Waterbedrijf: Bedrijfsbreed onderzoek betreffende biologie, ecologie, beheersing en monitoring. Onderzoeksrapport. Evides Waterbedrijf, Rotterdam.
- [7] <https://wetenschap.infonu.nl/scheikunde/144135-chloroform-in-onze-leefomgeving.html>.
- [8] <https://cdn.who.int/media/docs/default-source/wash-documents/wash-chemicals/chlorine.pdf>
- [9] <https://en.wikipedia.org/wiki/Trihalomethane>.
- [9] Leerdam, R.C. van, Janssen, P.J.C.M., Aa, N.G.F.M. van der, en Versteegh, J.F.M. (2018): 'Risicobeoordeling 42 opkomende stoffen in oppervlaktewaterbronnen voor drinkwaterbereiding; Probleemstoffen op basis van Protocol monitoring en toetsing drinkwaterbronnen KRW. Briefrapport 2018-0080, RIVM, Bilthoven. <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2018-0080.pdf>
- [10] <https://rvszoekstelsysteem.rivm.nl/Stoffen>.



[11] Tak, S. and Prakash B.V. (2018): Natural organic matter as precursor to disinfection byproducts and its removal using conventional and advanced processes: state of the art review IWA Journal of Water and Health 16.5 blz. 681-703

[12] REWAB, 2022

[13] <https://cdn.who.int/media/docs/default-source/wash-documents/wash-chemicals/trihalomethanes.pdf>

[14] Baken et al. 2018 ([Toxicological risk assessment and prioritization of drinking water relevant contaminants of emerging concern - PubMed \(nih.gov\)](#))

• (Chloor)fenolen

Grondslag norm: signalering/gezondheidskundig

Drinkwaterbesluit 2011: maximum waarde 1 µg/l

Opmerking: Indien het een metaboliet van een pesticide betreft, die in humaan toxicologisch opzicht relevant is, geldt een normwaarde van 0,1 µg/l

WHO 2022: richtwaarde 2,4,6-trichloorfenol: 200 µg/l; pentachloorfenol: 9 µg/l

EU Drinkwaterrichtlijn 2020: geen vermelding

Herkomst

Fenol (in het verleden ook wel carbolzuur of carbol genoemd) is een organische stof bestaande uit een benzeenring waarvan één waterstofatoom is gesubstitueerd door een hydroxylgroep (OH). Fenol is een van de belangrijkste industriële chemicaliën; de wereldwijde productie in 2004 was ongeveer 7,7 miljoen ton [1].

Chloorfenolen bestaan uit een fenol waarin aan de vijf andere koolstofatomen één tot vijf chlorideatomen zijn gebonden. De groep chloorfenolen omvat 19 stoffen (alle mogelijk combinaties van mono- tot en met pentachloorfenol) [2].

Fenol is onder meer een grondstof voor bisfenol A, dat op zijn beurt een grondstof is voor nylon, alkylfenolen zoals nonylfenol (die worden gebruikt voor de synthese van stabilisatoren of antioxidanten in smeerolie en polymeren), xyenolen, tussenproducten in de synthese van farmaceutische stoffen, antioxidanten en chemische bestrijdingsmiddelen, en salicylzuur dat een precursor is van acetylsalicylzuur (werkzame stof in 'aspirine') [1].

Chloorfenolen zoals pentachloorfenol werden tot hun verbod in 1989 gebruikt als conserveermiddelen in bijvoorbeeld hout, verf en lijm, en kunnen worden gevormd als afbraakproduct van sommige bestrijdingsmiddelen [3, 4]. Bij de bereiding van drinkwater kunnen chloorfenolen worden gevormd in het geval chloor als desinfectiemiddel wordt toegepast. De zogenaamde desinfectiebijproducten zijn met name 2-chloorfenol, 2,4-dichloorfenol en 2,4,6-trichloorfenol [4].

4-methylfenol of para-cresol wordt vooral gebruikt bij de synthese van antioxidanten zoals butylhydroxytolueen (BHT), evenals bij de productie van fenolharsen (resolen en novolacs). Para-cresol is een component in menselijk zweet en ook een geurstof die vrouwelijke muggen aantrekt, en is een belangrijk bestanddeel van varkensgeur [8].

Blootstellingsroutes

Vroeger vond blootstelling voornamelijk plaats door de (intensieve) toepassing van (chloor)fenolen (zie vorige onderdeel) of in de buurt van productielocaties [5]. In Nederland worden deze stoffen de afgelopen jaren nauwelijks boven de rapportagegrens aangetroffen in bronnen voor drinkwater [3]. In Nederland wordt in principe ook geen chloor meer toegepast voor desinfectiedoeleinden bij de bereiding van drinkwater, zodat genoemde stoffen via deze route niet in het drinkwater worden geïntroduceerd.

Gezondheidskundige betekenis

Fenol is op zichzelf een giftige stof bij inname door de mond en huidabsorptie [1].

Fenolverbindingen zijn daarentegen niet altijd (even) giftig. Chloorfenolen zijn toxisch voor de lever en het immuunsysteem, worden ervan verdacht schadelijk te zijn voor de voortplanting en zijn mogelijk carcinogeen voor de mens [3].

Veel fenolen hebben een lage geur- en smaakdrempel. Voor sommige fenolische ethers, zoals chloormethoxybenzeen-isomeren (chlooranisolen) zijn lage geurdrempels van 0,000003 – 0,04

µg/l gerapporteerd [6]. Deze chlooranisolen kunnen soms door micro-organismen in leidingsystemen voor drinkwater worden gevormd [4]. De smaakdrempels voor 2-chloorfenol, 2,4-dichloorfenol en 2,4,6-trichloorfenol zijn respectievelijk 0,1, 0,3 en 2 µg/l. De geurdrempels zijn respectievelijk 10, 40 en 300 µg/l [4].

Normen en richtlijnen verklaard

De maximum waarde voor (chloor)fenolen van 1 µg/l volgens het Drinkwaterbesluit betreft een signaleringswaarde ter bescherming van de kwaliteit van de bron. Indien deze waarde wordt overschreden, dient nader onderzoek naar het voorkomen van de stof plaats te vinden. Als het om een (chloor)fenol als metaboliet van een pesticide gaat, is de maximale waarde lager, namelijk 0,1 µg/l.

De WHO-richtwaarden voor chloorfenolen hebben een gezondheidkundige basis. De WHO neemt uitsluitend de stoffen 2-chloorfenol, 2,4-dichloorfenol, 2,4,6-trichloorfenol en pentachloorfenol mee in haar beoordeling. De eerste drie chloorfenolen omdat dit (chloor)fenolen zijn die bij de bereiding van drinkwater kunnen worden gevormd bij het gebruik van chloor als desinfectiemiddel. Pentachloorfenol is door de WHO beschouwd, omdat het een veel gebruikte stof is die in zeer hoge concentraties in zowel grond- als oppervlaktewater aanwezig was [7]. Vanwege het ontbreken van voldoende toxicologische gegevens konden voor 2-chloorfenol en 2,4-dichloorfenol geen richtwaarden worden afgeleid. Voor 2,4,6-trichloorfenol is een richtwaarde van 200 µg/l afgeleid op basis van carcinogene effecten in toxicologisch onderzoek bij ratten en een 10^{-5} risicogrens bij levenslange blootstelling [5]. De WHO merkt daarbij op dat de gerapporteerde smaakdrempel voor deze stof laag is (2 µg/l), zodat de consumptie van water dat geen smaakprobleem veroorzaakt veilig kan worden gedronken [5]. De richtwaarde voor pentachloorfenol (9 µg/l) is gebaseerd op carcinogene effecten in toxicologisch onderzoek bij ratten. Het betreft een voorlopige richtwaarde, omdat een belangrijke metaboliet die in ratten wordt gevormd bij mensen een ondergeschikte rol speelt [4].

Aanwezigheid in drinkwater(bronnen) en monitoring

De parameter (chloor)fenolen dient volgens de Drinkwaterregeling uitsluitend te worden bepaald in ruwwater. Tussen 2015 en 2020 worden de 31 (chloor)fenolen in ruwwater (oppervlakte- en grondwater) vrijwel niet boven de rapportagegrens gerapporteerd in REWAB. Uitsluitend de stof 4-methylfenol is in ruw oppervlaktewater in 2015 en 2016 boven rapportagegrens aangetoond, respectievelijk met 0,14 en 0,19 µg/l. De rapportagegrens voor (chloor)fenolen ligt tussen de 0,05 en 0,01 µg/l.

De ILT-rapportages tussen 2015 en 2022 vermelden geen overschrijdingen. Wel meldt RIWA dat sterk verhoogde concentraties fenol in 2015 leidden tot een innamestop voor water uit de Rijn [9]. 2,4-Dinitrofenol zat in 2018 dicht bij de ERM-streefwaarde bij Lobith, maar in 2019 niet meer. Deze parameter laat een dalende trend zien [10]. In 2019 vermeldt RIWA-Rijn in het Jaarrapport dat bij Bimmen/Lobith een sterk verhoogde concentratie van 15 en 41 µg/l (op basis van 1,4-dichloorbenzeen-D4) is gemeten door een vermoedelijk scheepsongeval wat leidde tot een innamestop. De totale vracht aan fenol bedroeg meer dan 3.000 kg. RIWA-Rijn heeft bij de Nederlandse politie aangifte gedaan van een vermoedelijk milieudelict door een onbekende dader [11].

Zuivering

(Chloor)fenolen zijn te kleine moleculen om met behulp van coagulatie/flocculatie/sedimentatie en snelfiltratie uit het water te verwijderen. Adsorptie aan actieve kool is vanwege de aromatische ring wel effectief, hoewel het relatief kleine, geladen molecuul als gevolg van 'competitie' op den duur mogelijk wel kan worden verdreven door grotere moleculen. De aromatische ring kan in oxidatieprocessen kapot worden gemaakt. Omgekeerde osmose is effectief om (chloor)fenolen uit water te verwijderen. Nanofiltratie is meestal effectief voor componenten met een molmassa van minstens ongeveer 200 g/mol, wat betekent dat het voor de verwijdering van de meeste chloorfenolen niet toepasbaar zal zijn.

Referenties

- [1] <https://nl.wikipedia.org/wiki/Fenol>.
- [2] <https://en.wikipedia.org/wiki/Chlorophenol>.
- [3] Houtman, C.J., Velzeboer, I., Slootweg, T., Kroesbergen, J. (2015): Organische stoffen in het Drinkwaterbesluit: 2 Monitoring van 'oude' stoffen. H₂O-Online. <https://edepot.wur.nl/361416>.
- [4] WHO (2022) Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first and second addenda. Geneva.
- [5] WHO. (2003) Chlorophenols in Drinking-water. Background document for development of WHO *Guidelines for Drinking-water Quality*. WHO/SDE/WSH/03.04/47. WHO, Geneva.
- [6] Van Dijk-Looijaard, A.M. (1993) Herziening Normen Waterleidingbesluit. SWO 92.294. KIWA, Nieuwegein.
- [7] WHO(2003) Pentachlorophenol in Drinking-water. Background document for development of WHO *Guidelines for Drinking-water Quality*. WHO/SDE/WSH/03.04/62. WHO, Geneva.
- [8] <https://en.wikipedia.org/wiki/P-Cresol>).
- [9] RIWA-Rijn (2016): 'Jaarrapport 2015; De Rijn', Vereniging van Rivierwaterbedrijven, Nieuwegein.
[IDF1331-RIWA-jaarrapport-NL-2015-internet-kl-1.pdf \(riwa-rijn.org\)](#)
- [10] RIWA-Rijn (2019): 'Jaarrapport 2018; De Rijn', Vereniging van Rivierwaterbedrijven, Nieuwegein.
[RIWA-2019-NL-Jaarrapport-2018-De-Rijn.pdf \(riwa-rijn.org\)](#)
- [11] RIWA-Rijn (2020): 'Jaarrapport 2019; De Rijn', Vereniging van Rivierwaterbedrijven, Nieuwegein.
[RIWA-2020-NL-Jaarrapport-2019-De-Rijn.pdf \(riwa-rijn.org\)](#)

● Chloraat

Grondslag norm: gezondheidskundig

Drinkwaterbesluit 2011: maximum waarde 0,25 mg/l (250 µg/l)

Opmerkingen:

(i) Deze norm wordt van kracht op 12 januari 2026.

(ii) Er wordt een parameterwaarde van 0,70 mg/l toegepast wanneer een desinfectiemethode die chloriet, met name chloordioxide, voortbrengt, wordt gebruikt voor het desinfecteren van voor menselijke consumptie bestemd water. Waar mogelijk streven de lidstaten, zonder dat evenwel de desinfectie in gevaar mag komen, naar een lagere waarde. Deze parameter wordt alleen gemeten indien dergelijke desinfectiemethoden worden toegepast.

WHO 2022: voorlopige richtwaarde 0,7 mg/l (700 µg/l)

EU Drinkwaterrichtlijn 2020: parameterwaarde 0,25 mg/l (250 µg/l)

Opmerkingen:

(i) Artikel 25, lid 1: Uiterlijk op 12 januari 2026 nemen de lidstaten de nodige maatregelen om ervoor te zorgen dat voor menselijke consumptie bestemd water voldoet aan de parameterwaarden in bijlage I, deel B, voor bisfenol A, chloraat, chloriet, gehalogeneerde azijnzuren, microcystine-LR, PFAS — totaal, som van PFAS en uraan.

(ii) Bijlage I, deel B: Er wordt een parameterwaarde van 0,70 mg/l toegepast wanneer een desinfectiemethode die chloraat, met name chloordioxide, voortbrengt, wordt gebruikt voor het desinfecteren van voor menselijke consumptie bestemd water. Waar mogelijk streven de lidstaten, zonder dat evenwel de desinfectie in gevaar mag komen, naar een lagere waarde. Deze parameter wordt alleen gemeten indien dergelijke desinfectiemethoden worden toegepast.

RIVM: 0,07 mg/l (70 µg/l)

Herkomst

Chloordioxide (als grondstof voor chloraat) is een anorganische stof, die wordt gevormd als bijproduct van desinfectie met chloordioxide en natriumhypochloriet (chloorbleekloog) [1]. In zwembaden kan chloraat worden gevormd bij het gebruik van zoutelektrolyse voor het maken van vrij beschikbaar chloor [2, 9]. Chloraat wordt vaak samen met chloriet beschouwd vanwege het gezamenlijk voorkomen als bijproducten van disinfectie.

Chloordioxide is een sterk desinfecterende stof die wordt toegepast bij de behandeling van drinkwater, maar ook bij afvalwaterbehandeling, de industriële proceswaterbehandeling, de desinfectie van koeltorenwater, industriële luchtbehandeling, mosselcontrole, de productie en behandeling van levensmiddelen, de desinfectie van voedselbereidingsmiddelen, de oxidatie van industrieel afval en de gassterilisatie van medische apparaten. Chloordioxide is in water ten minste 48 uur lang actief als bactericide en is waarschijnlijk langer actief dan chloor. Als in de waterbehandelingsfase chloordioxide wordt toegevoegd, wordt de bacteriële groei in het leidingnet voor drinkwater voorkomen. Chloordioxide is ook effectief tegen de vorming van biofilm in het leidingnet. Daarnaast wordt het toegepast als bleekmiddel voor papier en textiel, en om circuitborden te reinigen in de elektronica-industrie.

Natriumhypochloriet (als grondstof voor chloraat) wordt gebruikt als biocide, onder andere voor handdesinfectie en als huishoudelijk reinigingsmiddel. In 2020 zijn 123 producten met natriumhypochloriet toegelaten [3].

Blootstellingsroutes

Chloriet en chloraat kunnen in voedsel voorkomen als gevolg van de toepassing bij (i) de verwerking van meel, (ii) het ontkleuren van carotenoiden en andere natuurlijke pigmenten en (iii) de indirecte toevoeging aan papier en papierproducten die worden gebruikt als

voedselverpakkingen (natriumchloriet). De stoffen worden ook ingezet als droogmiddel en fungicide in de landbouw (natriumchloraat) [4]. Chloraat kan door toepassing van chloordioxide als nadesinfectie bij de bereiding van drinkwater rechtstreeks in het drinkwater terechtkomen.

Gezondheidskundige betekenis

Chloraat heeft een lage acute toxiciteit voor zoogdieren met een LD₅₀-waarde hoger dan 5.000 mg/kg in ratten die oraal zijn blootgesteld aan natriumchloraat [6]. De (humaan-relevante) toxicologie van chloraat zoals deze is beoordeeld door de WHO [4] en JECFA [7] wordt samengevat in Schets *et al.* [2]: in proefdierstudies en ook bij de mens is methemoglobinevorming waargenomen. Net zoals chloriet en andere oxiderende stoffen zet chloraat ijzerionen in hemoglobine om van Fe²⁺ naar Fe³⁺, waardoor methemoglobine ontstaat dat niet in staat is zuurstof te transporteren. Dit gaat waarschijnlijk gepaard met een reductie van de concentraties glutathion waardoor cellen onbeschermd raken tegen oxidatieve stress door chloraat. Een geringe verhoging van methemoglobine in het bloed is relatief onschuldig. Pas bij percentages vanaf 15% treden de eerste symptomen op. In semichronische en chronische rattenstudies bleken schildklieren echter gevoeliger (colloïdedepletie, hypertrofie, hyperplasie). Op basis van colloïdedepletie leidde de WHO in 2005 een geen-effectniveau af van 30 mg/kg lichaamsgewicht/dag, afkomstig uit een semichronische proefdierstudie in ratten. In nadien uitgevoerde orale proeven bleek dat na chronische toediening bij ratten ook hyperplasie in de schildklier ontstaat en dat bij hoge doses ook schildkliertumoren ontstaan. Mede op basis van de negatieve genotoxiciteit is een niet-genotoxisch werkingsmechanisme het meest aannemelijk voor deze tumoren. Chloraat verstoort de hormoonproductie door de schildklier, waarschijnlijk als gevolg van competitieve verstoring van jodiumopname door schildkliercellen. Dit resulteert in verhoging van afgifte van schildklier-stimulerend hormoon met als gevolg schildkliercelproliferatie.

De mens is hoogstwaarschijnlijk minder gevoelig voor dit effect dan de rat. In de orale ratten- en muizenproeven deden bloedeffecten zich pas bij relatief hoge doseringen voor. JECFA [7] berekende voor schildkliereffecten een Benchmark Dose Limiet (BMDL) van 1,1 mg/kg/dag voor 10% toename van schildklierhypertrofie bij mannelijke ratten zoals dat is waargenomen in een chronisch experiment uit 2005. In een vrijwilligersstudie (uitgevoerd rond 1980) met toediening van chloraat aan drinkwater, was geen schadelijk effect aantoonbaar bij 0,036 mg/kg/dag (het enige doseringsniveau). In deze studie dronken gezonde mannelijke proefpersonen gedurende twaalf weken dagelijks 500 ml water met daarin een concentratie van 5 mg/l chloraat [2].

De ADI is door de WHO vastgesteld op 0 – 0,01 mg/kg lichaamsgewicht gebaseerd op een BMDL₁₀ van 1,1 mg/kg lichaamsgewicht per dag voor niet-neoplastische effecten op de schildklier van mannelijke ratten in een carcinogeniteitsstudie onderzoek en met een veiligheidsfactor van 100 (een factor van 10 om rekening te houden met de variabiliteit tussen soorten (intraspecies variability) en een extra factor van 10 om rekening te houden met de tekortkomingen in de database; een veiligheidsfactor voor 'interspecies' variatie werd niet nodig geacht omdat mensen waarschijnlijk minder gevoelig zijn dan ratten voor deze effecten) [10].

Normen en richtlijnen verklaard

Door de WHO wordt een voorlopige richtwaarde ('provisional guideline value') aangehouden van 0,7 mg/l (700 µg/l) in het geval disinfectie wordt toegepast [10]. De richtwaarden voor chloriet en chloraat worden aangeduid als voorlopig, omdat het gebruik van verouderd hypochloriet of chloordioxide als desinfectiemiddel kan leiden tot overschrijding van de richtwaarden voor chloriet en chloraat. Het mogelijk overschrijden mag volgens de WHO nooit een reden zijn om een adequate desinfectie in gevaar te brengen [10].

Vanaf 2018 was door het RIVM een gezondheidskundige richtwaarde vastgesteld: 70 µg/l. Hierbij is RIVM dus strenger dan de voorlopige waarde van WHO. Deze Nederlandse richtwaarde is overigens niet beleidsmatig vastgesteld (en op de RIVM-website wordt deze waarde niet vermeld). Wel zijn dergelijke waardes gebruikt om ontheffingen te geven in de jaren 2018 – 2021. Vanaf 2020 zijn geen ontheffingen meer mogelijk voor de 'overige antropogene stoffen' [11].

In de vigerende Europese Drinkwaterrichtlijn geldt voor chlooraat in drinkwater een richtwaarde van 250 µg/l. Vanuit deze richtlijn volgt voor deze parameter een meetverplichting vanaf 2026.

Door het RIVM is voor chlooraat een indicatief maximaal toelaatbaar risiconiveau voor zoet oppervlaktewater van 1.420 µg/l (MTR-ECO) en $2,63 \times 10^7$ µg/l (MTR-HUMAAN) vastgesteld [5], dat geen directe link met drinkwater kent.

Aanwezigheid in drinkwater(bronnen) en monitoring

De drinkwaterbedrijven voeren enige tijd analyses uit op de aanwezigheid van chlooraat, zonder dat een meetverplichting van kracht was/is. Volgens het Drinkwaterbesluit en de Drinkwaterregeling geldt voor de parameter chlooraat met ingang van 12 januari 2026 een meetverplichting in drinkwater (na de laatste zuiveringsstap of aan het tappunt).

Tussen 2015 en 2020 is chlooraat na de laatste zuiveringstap of aan het tappunt in 72% van de meetlocaties aangetroffen in drinkwater met grondwater als bron, met als kanttekening dat de rapportagegrenzen laag liggen: tussen 2 en 5 µg/l. De mediaanconcentratie van chlooraat voor water met grondwater als bron ligt onder de hoogste rapportagegrens (5 µg/l). De hoogst gemeten waarde in drinkwater met grondwater als bron is over de jaren heen jaren 21 tot 56 µg/l.

Voor drinkwater met oppervlaktewater als bron wordt chlooraat in 68% van de meetlocaties aangetroffen en hier liggen de rapportagegrenzen in dat geval hoger: tussen de 5 en 50 µg/l. Vanaf 2018 is de rapportagegrens verlaagd en kwamen de mediaanconcentraties in 2019 en 2020 boven de rapportagegrens: 24 µg/l. De gemeten maxima liggen tussen de 51 en 69 µg/l.

ILT heeft in de rapportages over de jaren 2015 – 2020 de concentraties getoetst aan de signaleringsparameter van 1 µg/l, als onderdeel van de parameter 'overige antropogene stoffen' (zie tabel hieronder). De term overschrijding is enigszins verwarrend, omdat hier sprake is van een toetsing aan de *signaleringswaarde* van 1 µg/l en niet aan een grenswaarde op gezondheidkundige grondslag.

In de vigerende Europese Drinkwaterrichtlijn geldt voor chlooraat en chloriet in drinkwater afzonderlijk een parameterwaarde van 250 µg/l. De in Nederland gemeten waarden blijven hier ver onder, zo stelt ook ILT in haar rapportage van 2020 vast. Overigens blijft de waarde ook nog onder de door het RIVM genoemde (70 µg/l) en de voorlopige WHO richtwaarde (700 µg/l).

Tabel 1 Overschrijdingen van de signaleringsparameter (1 µg/l) voor chlooraat in drinkwater, zoals gerapporteerd door ILT.

Chlooraat in drinkwaterbronnen		
jaar	metingen	aantal overschrijdingen
2018	122	11
2019	123	11
2020	151	21
2021	189	14

Zuivering

Chlooraat wordt slecht tot niet verwijderd tijdens de volgende zuiveringsstappen: geavanceerde oxidatieprocessen met ozon en UV (en waterstofperoxide), coagulatie/snellfiltratie en actieve-koolfiltratie [1]. Chlooraat wordt wel biologisch afgebroken tijdens oeverfiltratie en duinpassage [8].

Referenties

[1] Versteegh, J.F.M., Neele, J., Cleven, R.F.M. (1993). Chloriet en chlooraat in drinkwater: een desinfectie- of een milieuprobleem? H₂O 26, 680-686. [373790 \(wur.nl\)](https://www.wur.nl/en/publication-desinfectie-1)



[2] Schets, F.M., Keltjens, L.L.M., Hulshof, G.J.M., Schoon, H., Feyen, L.J.G., Janssen, P.J.C.M., te Biesbeek, J.D. (2014). Normen en methoden voor kwaliteitsparameters voor het te wijzigen Besluit hygiëne en veiligheid badinrichtingen en zwemgelegenheden. RIVM rapport 2014-0121. RIVM, Bilthoven.

[3] www.ctgb.nl.

[4] WHO. (2016). Chlorine Dioxide, Chlorite and Chlorate in Drinking-water. Background document for development of WHO *Guidelines for Drinking-water Quality*. WHO/FWC/WSH/16.49. WHO, Geneva.

[5] <https://rvszoeksysteem.rivm.nl/stof/detail/444>

[6] <https://echa.europa.eu/nl/registration-dossier/-/registered-dossier/14688/4/8>

[7] JECFA. (2008). Acidified sodium chlorite - Safety evaluation of certain food additives and contaminants - Prepared by the Sixty-eighth meeting of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA). WHO Food Additives Series nr. 59.

[8] Fischer A., Slootweg T. (2012). Bedreigingen waterkwaliteit Dunea - Evaluatie- en updateproject 2012. HWL-rapport 201220, Haarlem.

[9] de Wit L, en Bokkers, B. (2021) Verhoogd gehalte chloraat in zwembad Hofbad. RIVM Notitie. <https://www.rivm.nl/publicaties/verhoogd-gehalte-chloraat-in-zwembad-hofbad>

[10] WHO (2022) Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first and second addenda. Geneva.

<https://www.who.int/publications/i/item/9789240045064>

[11] Inspectie Leefomgeving en Transport (2020): 'Drinkwaterkwaliteit 2019', ILT, Den Haag. [Rapport+1++201202+Drinkwaterkwaliteit+2019+-+definitief.pdf](#)

● Chloride

Grondslag norm: indicator – bedrijfstechnisch – organoleptisch (smaak)

Drinkwaterbesluit 2011: jaargemiddelde 150 mg/l

WHO-richtwaarde: 250 mg/l

EG-Drinkwaterrichtlijn 1998: parameterwaarde 250 mg/l

Introductie

Chloride moet niet worden verward met 'chloor'. Chloorbleekloog (natriumhypochloriet opgelost in water) wordt in het buitenland vaak aan het drinkwater gedoseerd ten behoeve van desinfectie. Dit is in Nederland uitsluitend nog toegestaan bij calamiteiten.

Herkomst

Chloride is een veel voorkomend ion (Cl^-), bekend van onder meer keukenzout, zoutafzettingen en zeewater. De basis van de zoutbelasting in rivieren is de natuurlijke concentratie aan chloride. Chloride komt van nature in mineraalhoudende gesteenten voor, vooral in de vorm van zouten. Deze zouten zijn zeer goed oplosbaar in water en mobiel [1]. Door afstroming van neerslag langs en door het gesteente lost een hoeveelheid zout op dat vervolgens wordt afgevoerd via de rivier. Een ander deel van de natuurlijke zoutbelasting komt door atmosferische depositie.

Daarnaast draagt de mens bij aan de zoutbelasting door bemesting, scheepvaart, afvalwaterlozingen, gladheidbestrijding bij vorst, mijnbouw en andere industriële activiteiten [2 – 5].

Voor de Maas is de door mensen veroorzaakte chloride component laag ten opzichte van de natuurlijke belasting. Voor de Rijn heeft de industrialisatie geleid tot hogere zoutvrachten. Sinds het einde van de 19^e eeuw is de natuurlijke zoutbelasting zelfs maar een klein deel van de totale belasting. De zoutvracht in de Rijn neemt sinds 1895 toe [4]. Sinds ongeveer 1950 loosden de bruinkoolmijnen bij Keulen en de kalimijnen bij Mulhouse grote hoeveelheden zout. Daarnaast is de zware industrie in het Ruhrgebied eveneens zout gaan lozen. In eerste instantie werd dit zout eenvoudig geloosd in de Rijn, maar door onder anderen de Nederlandse milieu- en drinkwaterlobby is dit in het Rijnzoutverdrag verboden, waardoor de vervuilsbron van de kalimijnen is weggefallen [3].

Blootstellingsroutes

Verreweg de grootste bron van chloride voor mensen is het toegevoegde zout (natriumchloride ofwel NaCl) in voedsel. Drinkwater dat aan de kwaliteitseisen volgens het Drinkwaterbesluit voldoet, speelt geen rol. Chloride in drinkwater kan via de smaak pas worden opgemerkt bij concentraties ver boven de wettelijke grenswaarde [1]. Bij concentraties vanaf 250 mg/l kan chloride op die wijze worden waargenomen [1].

Gezondheidskundige betekenis

Chloride in drinkwater speelt geen rol voor de gezondheid in concentraties zoals die voorkomen in drinkwater [1].

Chloride speelt een rol bij het regelen van de vochtbalans in het lichaam, samen met natrium en kalium. Bij zeer hoge concentraties kan chloride leiden tot uitdroging. Het menselijk lichaam is goed in staat de chloridebalans op peil te houden door té grote hoeveelheden uit te scheiden via de urine. Het belangrijkste risico van te veel zout (natriumchloride) via té zout eten is een hoge bloeddruk, die niet per sé is gerelateerd aan het chloride maar aan het natrium.

Een overschrijding van de grenswaarde voor chloride tot maximaal 250 mg/l blijft binnen de WHO-richtwaarde en zal de gemiddelde consument geen gezondheidsschade opleveren. Dit kan anders zijn voor kwetsbare gebruikers zoals flesgevoede zuigelingen en nierpatiënten [2].

Normen en richtlijnen verklaard

Voor drinkwater is chloride vooral relevant, omdat het bij hoge concentraties de smaak van het water aantast en omdat het corrosie van metalen onderdelen in het leidingnet en in drinkwaterinstallaties bevordert [1, 2]. Dit laatste kan leiden tot verhoogde concentraties van metalen in drinkwater [1] en die kunnen weer invloed hebben op de gezondheid van de consument. Er is dus ook een indirect belang van een relatief lage concentratie chloride in drinkwater.

Aanwezigheid in drinkwater(bronnen) en monitoring

Chloride moet worden gemeten aan het tappunt of na de laatste zuiveringsstap. Ook moet de parameter in het ruwe water worden gemeten. De maximum waarde voor chloride is een jaargemiddelde en wordt niet overschreden op die meetlocaties. Incidenteel is de concentratie aan chloride wel eens hoger dan 150 mg/l (RIWA).

In grondwater dat wordt gebruikt voor de bereiding van drinkwater is de gemiddelde chloride-concentratie 30 mg/l. In 2,5% van de meetlocaties voor grondwater is de concentratie aan chloride ten minste eenmaal hoger dan 150 mg/l. Het jaargemiddelde van al het ruwe grondwater is altijd onder de maximum waarde uit het Drinkwaterbesluit (REWAB).

In het Nederlandse drinkwater is de gemiddelde concentratie aan chloride 32 mg/l. In een enkel geval is de concentratie aan chloride in het drinkwater eenmalig hoger dan de maximum waarde. Die waarde betreft echter een jaargemiddelde en die wordt op alle meetlocaties nooit overschreden (REWAB).

Het is de verwachting dat de concentratie chloride in oppervlaktewater in de toekomst toeneemt. Door klimaatverandering zal in de stroomgebieden van de Rijn en de Maas een verandering in het neerslagregime optreden [3]. In de winter zal meer neerslag vallen en in de zomer minder. Als er minder water is om de vracht aan chloride te verdunnen, neemt de concentratie daarvan toe. Daarnaast is verzilting vanuit zee een bedreiging (IJsselmeer, Rijn-monding, Haringvliet). Dit wordt in het Deltaprogram Zoetwater onderkent en zo veel mogelijk voorkomen door ingrepen in het hoofdwatersysteem. Een deel van het Nederlandse drinkwater wordt gewonnen uit de Maas en de Rijn, en chloride is met de huidige zuiveringstechnieken uitsluitend tegen hoge extra kosten en energieverbruik te verwijderen. Om die reden is de handleiding voor de normering van chloride in drinkwater(bronnen) opgesteld die aangeeft hoe te handelen bij (dreigende) overschrijding [6].

Zuivering

Chloride is moeilijk om te verwijderen, omdat het ion erg klein is en goed oplosbaar is in water. De concentratie aan chloride kan uitsluitend worden verlaagd met behulp van de zuiveringstechnieken omgekeerde osmose, ionenwisselaars en elektrolyse [2]. Hierbij ontstaat een geconcentreerde hoeveelheid water (15 – 20% van de oorspronkelijke hoeveelheid), waarin alle chloride (en de andere aanwezige grotere ionen en deeltjes) zich bevindt. Dit concentraat moet vervolgens worden afgevoerd zonder dat het elders weer problemen geeft, bijvoorbeeld naar een AWZI waar het weer wordt verdund met afvalwater. Het handelingsperspectief geeft aan hoe bij overschrijding kan worden gehandeld [6].

Referenties

[1] World Health Organization (2017): 'Guidelines for drinking-water quality; Fourth edition incorporating the first addendum', ISBN 978-92-4-154995-0, Geneva.

<https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/254637/9789241549950-eng.pdf;jsessionid=2664217407E6F72C0DD4BA2B94E7D61B?sequence=1>

[2] Berg-van Vossen, J. van den, Cirkel, D.G., Nijhuis, N.J., Mesman, G.A.M., en Huiting, H. (2019): 'Achtergrond chloridenormering en analyse effecten van overschrijding van de norm', rapport [BTO 2019.014](#), KWR Water Research Institute, Nieuwegein.



[3] Bruijn, F.A. de, en Mazijk, A. van (2003): 'Klimaatinvloeden op de kwaliteit van het Rijnwater, Startdocument Klimaatproject RIWA', RIWA Rijn-rapport.

[4] Baggelaar, P.K., en Meulen, E.C.J. van der (2009): 'Historische en toekomstige ontwikkelingen chloridebelasting in het traject Lobith tot Andijk', RIWA-rapport.

[5] Bonte, M. (2009): 'Drinkwaterfunctie Markermeer en verzilting IJsselmeergebied', rapport BTO 2009.041(s), KWR Water Research Institute, Nieuwegein.

[6] Rijksoverheid (2018): 'Handleiding Chloride Normering Drinkwater(bronnen)', Helpdesk Water. https://www.helpdeskwater.nl/publish/pages/165197/handleiding_chloridenormering_drinkwater_bronnen_helpdesk_water.pdf (zie ook [Handleiding Chloridenormering Drinkwater\(bronnen\) - Helpdesk water](#))

● Chloriet

Grondslag norm: gezondheidskundig

Drinkwaterbesluit 2011: maximum waarde 0,25 mg/l (eind 2022 voor het eerst toegevoegd in het kader van de implementatie van de herziene Europese Drinkwaterrichtlijn):

Opmerkingen:

(i) Deze norm wordt van kracht op 12 januari 2026;

(ii) Er wordt een parameterwaarde van 0,70 mg/l toegepast wanneer een desinfectiemethode die chloriet, met name chloordioxide, voortbrengt, wordt gebruikt voor het desinfecteren van voor menselijke consumptie bestemd water. Waar mogelijk streven de lidstaten, zonder dat evenwel de desinfectie in gevaar mag komen, naar een lagere waarde. Deze parameter wordt alleen gemeten indien dergelijke desinfectiemethoden worden toegepast.

WHO 2022: voorlopige richtwaarde 0,7 mg/l

EU Drinkwaterrichtlijn 2020: maximum waarde 0,25 mg/l

Opmerkingen:

(i) Uiterlijk op 12 januari 2026 nemen de lidstaten de nodige maatregelen om ervoor te zorgen dat voor menselijke consumptie bestemd water voldoet aan de parameterwaarden in bijlage I, deel B, voor bisfenol A, chlooraat, chloriet, gehalogeneerde azijnzuren, microcystine-LR, PFAS — totaal, som van PFAS en uraan.

(ii) Er wordt een parameterwaarde van 0,70 mg/l toegepast wanneer een desinfectiemethode die chloriet, met name chloordioxide, voortbrengt, wordt gebruikt voor het desinfecteren van voor menselijke consumptie bestemd water. Waar mogelijk streven de lidstaten, zonder dat evenwel de desinfectie in gevaar mag komen, naar een lagere waarde. Deze parameter wordt alleen gemeten indien dergelijke desinfectiemethoden worden toegepast.

Herkomst

Chloriet kan in de bronnen voor drinkwater terechtkomen als gevolg van diverse industriële processen, waaronder het bleken van natuurlijk en synthetische vezels in de textielindustrie, ontvetting en ontkleuring, of bij toepassing als bacteriocide in de papier- en levensmiddelenindustrie [1].

Chloriet is een onvermijdelijk afbraakproduct bij het gebruik van chloordioxide. Doorgaans wordt 60 – 70% van de toegepaste dosis van het desinfectiemiddel in het behandelde water omgezet in chloriet [2]. Bij gebruik van chloordioxide als zodanig is de resulterende concentratie chloriet normaliter minder dan 0,2 mg/l bij gebruikelijke doses. Chloordioxide wordt ook ingezet bij de bestrijding van geur- en smaakklachten van drinkwater [2]. Chloordioxide wordt door slechts een enkel Nederlands drinkwaterbedrijf ingezet als nadesinfectiemiddel van het filtraat van actieve-koolfiltratie.

Voor de in situ bereiding van chloordioxide is natriumchloriet een van de precursors [2].

Chloriet wordt gevormd bij de ontleding van chloorbleekloog (natriumhypochloriet-oplossing) die lange tijd wordt opgeslagen en dan met name bij hogere temperaturen [3]. Bij de drinkwaterbedrijven wordt chloorbleekloog nog op een enkele plaats gebruikt om de aangroei van met name driehoeksmosselen (*Dreissena polymorpha*) en/of quaggamosselen (*Dreissena bugensis*) in ruwwatertransportleidingen te bestrijden [4, 5, 6]. De gedoseerde concentraties zijn echter laag (circa 0,5 – 0,7 mg/l), waardoor de concentraties aan gevormde bijproducten ook laag zijn (< 1,6 µg/l) [6].

Bij calamiteiten met een microbiologische verontreiniging van het drinkwater (bijvoorbeeld als gevolg van niet-hygiënisch werken bij de aanleg of de reparatie van drinkwaterleidingen) kan (in overleg met ILT) chloorbleekloog aan het drinkwater worden gedoseerd, waardoor de concentratie chloriet tijdelijk kan stijgen.

Blootstellingsroutes

Chloriet en chloraat (zie betreffende factsheet) kunnen in voedsel voorkomen als gevolg van het gebruik in de verwerking van meel, het ontkleuren van carotenoïden en andere natuurlijke pigmenten, als een toevoeging aan papier en papierproducten gebruikt als voedselverpakkingen (natriumchloriet) en als droogmiddel en fungicide in de landbouw (natriumchloraat) [3]. De geschatte dagelijkse inname is laag (0,9 tot 3 µg/kg lichaamsgewicht) en dat betreft waarschijnlijk ook nog een forse overschatting [3].

Bij het gebruik van chloordioxide als desinfectiemiddel bij de bereiding van drinkwater is drinkwater de belangrijkste blootstellingsroute. De WHO hanteert dan ook een allocatiefactor van 80% voor drinkwater bij de berekening van de voorlopige richtwaarde [2].

Gezondheidskundige betekenis

Na inname wordt chloriet door speeksel en in de maag snel afgebroken tot chloride. In bloedplasma wordt het dan ook zelden aangetroffen [3].

Het IARC heeft geconcludeerd dat chloriet niet is in te delen als kankerverwekkend voor de mens [3]. De primaire en meest consistente bevinding van blootstelling aan chloriet bij een aantal soorten was oxidatieve stress die leidde tot veranderingen in de rode bloedcellen. Deze constatering werd ondersteund door een aantal biochemische studies die in vitro werden uitgevoerd [1]. Bij studies met menselijke vrijwilligers gedurende maximaal 12 weken werd bij de hoogste geteste dosis (36 µg/kg lichaamsgewicht per dag) geen effect op de bloedparameters vastgesteld [3]. De aanvaardbare dagelijkse inname (ADI) voor chloriet bedraagt 0,03 mg/kg lichaamsgewicht, die is gebaseerd op een NOAEL van 3 mg/kg lichaamsgewicht per dag uit een studie naar het effect op het gewicht van de lever in twee generaties ratten met toepassing van een veiligheidsfactor van 100 (10 voor verschillen tussen soorten en 10 voor verschillen binnen de soort) [3].

Normen en richtlijnen verklaard

De WHO-richtwaarde voor chloriet (0,7 mg/l) is gebaseerd op bovengenoemde ADI en wordt als voorlopig aangemerkt, omdat het gebruik van verouderd hypochloriet of chloordioxide als desinfectiemiddel kan leiden tot overschrijding van die richtwaarde en moeilijkheden om aan de richtwaarde te voldoen nooit een reden mogen zijn om een adequate desinfectie in gevaar te brengen [2].

In het Drinkwaterbesluit en de Europese Drinkwaterrichtlijn wordt weliswaar een strengere norm gehanteerd voor drinkwater (0,25 mg/l), maar er mag wel een hogere grenswaarde worden gehanteerd als chloordioxide als desinfectiemiddel wordt gebruikt. Deze waarde is gelijk aan de voorlopige WHO-richtwaarde.

Aanwezigheid in drinkwater(bronnen) en monitoring

De parameter chloriet dient volgens de Drinkwaterregeling in het drinkwater na de laatste zuiveringsstap of aan het tappunt te worden bepaald. Chloriet (en ook enkele andere parameters) zijn (op basis van de Europese Drinkwaterrichtlijn van medio december 2020) pas in december 2022 in het Drinkwaterbesluit en in de Drinkwaterregeling opgenomen. Zoals uit de opmerking in zowel de Drinkwaterrichtlijn als in het Drinkwaterbesluit blijkt, is er voor de parameter chloriet pas een meetverplichting met ingang van 12 januari 2026. Desondanks zijn er meetresultaten beschikbaar.

Tussen 2015 en 2020 is chloriet na de laatste zuiveringstap of aan het tappunt uitsluitend gerapporteerd door één drinkwaterbedrijf, met als voornaamste bron oppervlaktewater. Rapportagegrenzen liggen tussen de 10 en 40 µg/l. Chloriet wordt (gemiddeld over de jaren) op 88% van de meetlocaties aangetroffen. Er is hierbij een afname te zien over de jaren. De mediaanconcentratie was over de jaren 2015 – 2018 circa 42,6 µg/l en circa 25,5 µg/l in 2019 – 2020. Gerapporteerde maxima per jaar zijn in 2015 tot 2019 rond de 75,5 µg/l. In 2020 lag het gemeten maximum lager en wel op 44 µg/l.

ILT-rapportages vermelden overschrijdingen van chloriet sinds 2019 (37 keer van 70 metingen dat jaar). De ILT-rapportage vermeldt in 2019 dat bekend is dat chloriet en chloraat voorkomen in oppervlaktewater en in drinkwater. Voor deze stoffen (die nog niet waren aangemerkt als 'overige antropogene stoffen') is in 2018 door het RIVM een gezondheidkundige richtwaarde vastgesteld: 70 µg/l voor chloraat en 700 µg/l voor chloriet. In de rapportage van 2019 staat dat deze richtwaarden nog niet beleidsmatig zijn vastgesteld. In de rapportage over 2021 wordt vervolgens vermeld dat in de herziene Europese Drinkwaterrichtlijn voor chloraat en chloriet een afzonderlijke grenswaarde van 250 µg/l in drinkwater geldt. In die rapportage wordt gesteld dat de in Nederland gemeten waarden hier ver onder blijven.

Zuivering

Het is mogelijk chloriet (deels) te verwijderen door middel van adsorptie aan actieve kool. Hierbij spelen de aard van de kool (afhankelijk van de grondstof daarvan) en de beladingsgraad een belangrijke rol. Verse kool kan chloriet goed verwijderen, maar bij beladen kool treedt snel doorslag op. Volgens de literatuur kan gemiddeld bijna 55% van het chloriet met behulp van filtratie over granulaire actieve kool worden verwijderd [7, 8].

Er zijn voorbeelden bekend waarin chloriet met behulp van tweewaardig ijzer werd gereduceerd tot chloride, maar dit wordt niet op grote schaal toegepast [9].

Chloriet is een bijproduct van het gebruik van bijvoorbeeld chloordioxide. Dergelijke chemicaliën tasten (RO-)membranen aan, waardoor er vrijwel geen literatuur is over de verwijdering van chloriet met behulp van membranen.

Referenties

[1] Versteegh, J.F.M., Neele, J., Cleven, R.F.M. (1993). Chloriet en chloraat in drinkwater: een desinfectie- of een milieuprobleem? *H₂O* 26, 680-686.

[373790 \(wur.nl\)](https://www.wur.nl/en/publication/373790)

[2] WHO. (2022). Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first and second addenda. WHO, Geneva.

[9789240045064-eng \(2\).pdf](https://www.who.int/publications-detail/9789240045064-eng)

[3] WHO. (2016). Chlorine Dioxide, Chlorite and Chlorate in Drinking-water. Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality. WHO/FWC/WSH/16.49. WHO, Geneva.

[4] Ketelaars, H.A.M. & Wagenvoort A.G. (1995): Control of Dreissena biofouling by the Water Storage Corporation Brabantse Biesbosch, J. Water SRT Aqua 44, 97-101.

[5] Verschoor, A.M. (2019): Effecten van invasieve schelpdieren op drinkwaterproductie en - distributie. BTO 2019.046. KWR, Nieuwegein.

[6] van Mook, J. (2014): Dreissena-mosselen bij Evides Waterbedrijf: Bedrijfsbreed onderzoek betreffende biologie, ecologie, beheersing en monitoring. Onderzoeksrapport. Evides Waterbedrijf, Rotterdam.

[7] Sorlini, S., Collivignarelli, M.C., Canato, M. (2015). Effectiveness in chlorite removal by two activated carbons under different working conditions: A laboratory study. *Journal of Water Supply: Research and Technology - Aqua* 64: 450-461.

[8] Sorlini, S., Biasibetti, M., Gialdini, F., Collivignarelli, M.C. (2017). Removal of chlorite from drinking water: Laboratory and pilot-scale studies to predict activated carbon performance at full scale. *Desalination and Water Treatment* 64: 165-172.

[9] Sorlini, S., Collivignarelli, M.C. (2005). Chlorite removal with ferrous ions. *Desalination* 176: 255-265.

● Chroom

Grondslag norm: gezondheidkundig

Drinkwaterbesluit 2011: maximum waarde 50 µg/l

WHO: richtwaarde 50 µg/l

EG-Drinkwaterrichtlijn 1998: parameterwaarde 50 µg/l (zie [6])

Introductie

Chroom of chromium is een chemisch element met symbool Cr. Het element komt van nature vooral in het mineraal chromiet in de aardkorst voor. Het kan in verschillende toestanden (ionvormen) voorkomen [1]. De verschillende chemische verbindingen met chroom worden ook wel 'chromaten' genoemd.

De meest stabiele vormen van chroom zijn [2]:

- Chroom-0
Metallisch chroom dat bijvoorbeeld op messing aanwezig is na het verchromen daarvan of als legeringselement in roestvaststaal. Deze vorm wordt ook wel aangeduid als 'Cr⁰' of 'chroom(0)'.
- Chroom-3
Het gaat om het driewaardige positieve ion dat ontstaat door het afstaan van drie elektronen en ook wel wordt aangeduid als 'Cr³⁺', 'chroom-III' of 'chroom(III)'.
- Chroom-6
Dit betreft het zeswaardige positieve ion dat ontstaat door het afstaan van zes elektronen en ook wordt aangeduid als 'Cr⁶⁺', 'chroom-VI' of 'chroom(VI)'. Chroom-6 wordt gebruikt bij de productie van verchromd metaal (zoals kranen, knoppen), als conserveringsmiddel in bijvoorbeeld cement en bij het looien van leer, in roestwerende verf, in cosmetica, in tatoeage-inkt, in speelgoed, in schoonmaakmiddelen of ter bescherming van hout tegen verwerking [2]. In de achterliggende jaren was er veel aandacht voor medewerkers die zijn blootgesteld aan chroom-6 door onderhoud aan defensiematerieel en treinen [2]. Veel producten mogen inmiddels geen chroom-6 meer bevatten [2].

Link naar RIVM risico van stoffen: <https://rvszoekstestem.rivm.nl/stof/detail/455>

Herkomst

De belangrijkste bron voor het vóórkomen van chroom en specifiek chroom-6 in het milieu zijn menselijke activiteiten en afvalstromen uit de industrie.

Blootstellingsroutes

Uit onderzoek van het RIVM [2] blijkt dat de blootstelling van mensen aan chroom-6 in hun dagelijks leven via alledaagse producten laag is en geen risico vormt voor de gezondheid. De in lucht gemeten concentraties zijn meestal lager dan de van toepassing zijnde grenswaarde [2]. Consumenten kunnen onbedoeld via de lucht aan chroom-6 worden blootgesteld. Dit is het geval wanneer sommige chroomhoudende producten worden bewerkt, bijvoorbeeld door ze te lassen, zagen, schuren of verbranden [2]. In drinkwater kan chroom van nature en als contaminant aanwezig zijn, maar daarbij gaat het niet of nauwelijks om chroom-6 [2]. In water komt vooral chroom-3 voor. Ook in voedsel is weinig chroom-6 aanwezig. In voedsel is chroom-6 vaak al omgezet naar chroom-3.

Gezondheidkundige betekenis

Het is bekend dat chroom een rol speelt bij de werking van insuline in het lichaam en de koolhydraatstofwisseling [2]. De schadelijke effecten van chroom-6 hangen af van de concentratie, route en duur waaraan iemand is blootgesteld. Na langdurige blootstelling kan chroom-6 leiden

tot ernstige gezondheidsschade in de vorm van kanker [1, 3] of een nadelig effect hebben op de voortplanting [3]. Het inademen van chroom-6 kan irritatie of zweren in de neus veroorzaken en ook ademhalingsproblemen zoals astma, hoesten en kortademigheid. Blootstelling aan hoge concentraties chroom-6 via de huid kan een allergische reactie veroorzaken [2]. Dat is bij drinkwater niet aan de orde.

Omdat levenslange blootstelling aan chroom-6 boven de grenswaarde van 50 µg/l in drinkwater zeer onwaarschijnlijk is, is het risico voor de gezondheid laag [2].

Normen en richtlijnen verklaard

De maximum waarde in het [Drinkwaterbesluit](#) geldt voor totaal chroom. Voor chroom-6 is er geen specifieke grenswaarde.

Chroom-6 is apart opgenomen op de lijst met [Zeer Zorgwekkende Stoffen](#) (ZZS) en wordt een 'CMR-stof' genoemd: Carcinogeen, Mutageen, Reproductie-toxisch. Aan het werken met CMR-stoffen worden extra verplichtingen gesteld [3, 4].

Het WHO-verslag [5] en recente besprekingen met toxicologen lijken te wijzen in de richting van de invoering van een lagere grenswaarde voor chroom, voornamelijk vanwege het giftigere chroom-6. De Europese Commissie zal daarom voor chroom dezelfde benadering volgen als voor lood. Zij stelt voor de waarde met 50% te verlagen tot 25 µg/l na een overgangsperiode van tien jaar na de inwerkingtreding van de richtlijn [6].

Aanwezigheid in drinkwater(bronnen) en monitoring

De concentraties aan totaal chroom in het water van de Rijn en de Maas variëren rond 1 µg/l. Deze concentratie is ruim beneden de kwaliteitseisen voor ruwwater ([RIWA](#)). Chroom-6 wordt in de reguliere meetprogramma's niet specifiek gemeten.

In grondwater is de gemiddelde concentratie aan totaal chroom lager: 0,2 µg/l.

In drinkwater direct na de bereiding is de vijfjarig-gemiddelde concentratie 0,12 µg/l. Specifiek chroom-6 is uitsluitend in 2018 door één drinkwaterbedrijf gemeten en wel in een concentratie van 0,44 µg/l.

Chroom moet door Nederlandse drinkwaterbedrijven worden gemeten in het drinkwater aan het tappunt. Ook moet chroom in het ruwe water worden gemeten.

Zuivering

Als er chroom-3 aanwezig is, zal dat waarschijnlijk tijdens conventionele zuiveringsprocessen ([coagulatie](#), [flocculatie](#), [sedimentatie](#) en [filtratie](#)) worden verwijderd, aangezien het een sterke complexvormer is. Om chroom-6 uit water te verwijderen, moet het chroom eerst worden gereduceerd door een reductor toe te voegen, waarna het via coagulatie en flocculatie kan worden verwijderd.

Referenties

[1] World Health Organization (2017): 'Guidelines for drinking-water quality; Fourth edition incorporating the first addendum', ISBN 978-92-4-154995-0, Geneva.

<https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/254637/9789241549950-eng.pdf;jsessionid=2664217407E6F72C0DD4BA2B94E7D61B?sequence=1>

[2] Wijnhoven, S.W.P., Brand, W., Groothuis, F.A., en Herremans, J. (2019): 'Blootstelling van consumenten aan chroom-6', RIVM Rapport 2019-0035, RIVM, Bilthoven.

<https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2019-0035.pdf> (zie ook <https://www.rivm.nl/chroom-6-en-carc/chroom-6>)

[3] Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid, Inspectie SZW.

<https://www.inspectieszw.nl/onderwerpen/chroom-6>



- [4] Vereniging Industrieel Oppervlaktebehandelend Nederland.
<https://vereniging-ion.nl/reach-comite-neemt-besluit-over-autorisatie-chroomvi-betekent-oppervlaktebehandelende-bedrijven?cookie=1580820402137>
- [5] Drinking Water Parameter Cooperation Project Support to the revision of Annex I Council Directive 98/83/EC on the Quality of Water Intended for Human Consumption (Drinking Water Directive) (2017) WHO regional office for Europe, Bonn.
https://ec.europa.eu/environment/water/water-drink/pdf/20171215_EC_project_report_final_corrected.pdf
- [6] Voorstel voor een RICHTLIJN VAN HET EUROPEES PARLEMENT EN DE RAAD betreffende de kwaliteit van voor menselijke consumptie bestemd water (herschikking) (2017).
https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:8c5065b2-074f-11e8-b8f5-01aa75ed71a1.0012.02/DOC_1&format=PDF

● Clostridium perfringens (inclusief sporen)

Grondslag norm: bedrijfstechnisch

Drinkwaterbesluit 2011: 0 kve/100 ml maximum waarde (inclusief sporen)

WHO 2022: geen richtwaarde

Europese Drinkwaterrichtlijn 2020: 0 kve/100 ml parameterwaarde (met inbegrip van sporen en de opmerking 'Deze parameter wordt gemeten indien de risicobeoordeling aangeeft dat dit passend is')

Herkomst

Clostridium perfringens behoort tot de groep van sulfietreducerende clostridia (SSRC). *Clostridium perfringens* is aanwezig in de feces van mensen en warmbloedige dieren en daardoor ook in het water dat hiermee wordt verontreinigd. Het is een Gram-positieve, anaerobe, sporenvormende bacterie. De sporen komen algemeen voor. Ze overleven lang in oppervlaktewater en zijn ook in sediment en waterbodems aanwezig (1). De sporen van *C. perfringens* zijn ovaalrond, ongeveer 1 µm groot en zeer resistent tegen allerlei milieu-invloeden zoals hitte, droogte en desinfectie (2). De concentratie in feces is aanmerkelijk lager dan die van de bacteriën van de coligroep (2, 11). In ruw rioolwater zijn concentraties aangetroffen van $10^4 - 10^5$ kve/l, terwijl in het effluent de concentraties ongeveer een factor 10 lager waren (3).

Blootstellingsroutes

Blootstelling aan *Clostridium perfringens* via drinkwater is niet relevant vanwege de lage concentraties in drinkwater (2).

Als grote aantallen vegetatieve cellen of sporen van *Clostridium perfringens* in het voedsel voorkomen, dan kunnen deze in de dunne darm een gifstof aanmaken. Ongeveer 8% van de *Clostridium perfringens* bacteriën produceren deze gifstof. De gifstof kan een voedselvergiftiging veroorzaken. *Clostridium perfringens* komt vooral voor in producten die vlees bevatten, zoals soepen en stoofschotels. Het komt ook voor in kruiden en specerijen. Mensen worden voornamelijk ziek na het eten van producten met vlees die onder verkeerde omstandigheden zijn gekoeld voor opslag. Na het koken van een maaltijd kunnen sporen van de bacterie nog aanwezig zijn. In grootkeukens zoals schoolkantines, ziekenhuizen, verzorgingshuizen en gevangenissen, worden vaak grote hoeveelheden voedsel tegelijkertijd bereid. Serveren kan vervolgens nog enige uren duren. Dit is een van de bekendste gevallen waarbij *Clostridium perfringens* vergiftigingen kunnen optreden (4).

Gezondheidskundige betekenis

De gezondheidskundige betekenis van *Clostridium perfringens* in drinkwater is nihil (2). De norm voor *Clostridium perfringens* in drinkwater is bedrijfstechnisch van aard.

De medische sector kent *Clostridium perfringens* als verwekker van koudvuur (gasgangreen) en diarree door het binnenkrijgen van voedsel met veel (toxines van) *Clostridium perfringens*. Gasgangreen is een ernstige infectie van spierweefsel en weke delen met *Clostridium perfringens* of andere *Clostridium*-soorten. De infectie werd veel gezien als complicatie van schotwonden en andere verwondingen in de Eerste en Tweede Wereldoorlog, waarbij de infectie ontstond door besmetting van de open wonden vanuit aarde en mest. Tegenwoordig wordt het vooral gezien als complicatie bij open fracturen, trauma, operaties aan de darmen of galblaas en bij kwaadaardige gezwellen van de huid en afweerstoornissen (leukemie, cytostatica) (5).

Normen en richtlijnen verklaard

Clostridium perfringens wordt beschouwd als een indicator voor fecale verontreiniging die aanwezig is in de darmen en uitwerpselen van warmbloedige dieren en de mens. *Clostridium perfringens* komt weliswaar voor in feces, maar is zeer persistent in het milieu, zodat *Clostridium perfringens* nog kan worden aangetroffen nadat andere indicatororganismen en pathogene micro-organismen volledig zijn afgestorven (6). Daarom is aanwezigheid van *Clostridium perfringens* geen indicatie voor de aanwezigheid van pathogene micro-organismen zolang er geen andere fecale indicatororganismen zoals *E. coli* of enterococci worden aangetroffen (6).

Het overschrijden van de maximum waarde voor *Clostridium perfringens* is op zichzelf geen aanleiding om een kookadvies in te stellen. Bij het aantreffen van *Clostridium perfringens* moet worden onderzocht wat de bron is van deze verontreiniging. Als er meer aanwijzingen worden gevonden die wijzen op een mogelijk (recente) fecale verontreiniging is dit wel aanleiding om een kookadvies te geven. In het geval de oorsprong niet een recente fecale verontreiniging is, is een kookadvies niet nodig. Wel wordt de aanbeveling gedaan deze bron uit te schakelen om herhaling van positieve monsters te voorkomen (6).

In dit kader is te begrijpen dat de Europese Drinkwaterrichtlijn vermeldt dat *Clostridium perfringens* uitsluitend hoeft te worden onderzocht als een risicoanalyse daartoe aanleiding geeft. In Nederland moeten zowel grondwaterbedrijven als oppervlaktewaterbedrijven deze parameter analyseren in water af pompstation en water aan de tap, zij het dat in het geval van grondwater een lagere meetfrequentie geldt (audit-frequentie). Sommige drinkwaterbedrijven kiezen ervoor om standaard *Clostridium perfringens* te meten als andere fecale indicatoren zoals *Escherichia coli* of enterococci bacteriën zijn aangetroffen in het drinkwater.

Aanwezigheid in drinkwater(bronnen) en monitoring

Volgens de Drinkwaterregeling is er een meetverplichting voor het ruwe water en na de laatste zuiveringsstap of aan het tappunt bij het gebruik van oppervlaktewater als grondstof. De concentratie aan *Clostridium perfringens* wordt uitgedrukt in 'kve', kolonievormende eenheden.

Tussen 2015 en 2020 is *Clostridium perfringens* in ruw oppervlaktewater in 94% van de gerapporteerde winpunten aangetroffen. De mediaanconcentratie is 54 kve/100 ml. De maximum gemeten concentratie lag in de jaren tussen de 470 en 3.400 kve/100 ml. Tussen 2015 en 2020 is *Clostridium perfringens* in ruw grondwater niet aangetroffen.

Tussen 2015 en 2020 wordt *Clostridium perfringens* aan het tappunt met als bron oppervlaktewater in 8,2% van de gerapporteerde locaties aangetroffen. Er is geen trend in dit percentage. De mediaanconcentratie is 1 kve/100 ml en de maximale concentratie lag tussen de 0 en 3 kve/100 ml.

Zuivering

Clostridium perfringens is naast een indicator voor fecale verontreiniging vooral van belang voor de veiligheid van drinkwater, omdat het functioneert als indicatororganisme om vast te stellen of de zuivering van oppervlaktewater voldoende in staat is om *Cryptosporidium* en *Giardia* en eventuele andere parasitaire protozoa te verwijderen (7). Uitsluitend de sporen van *Cryptosporidium perfringens* worden gebruikt als indicatororganisme, omdat vegetatieve cellen veel gevoeliger zijn voor desinfectiemethoden dan de resistente sporen.

Door het gebruik van de sporen als indicator voor protozoa is over de mate waarin deze sporen door zuiveringsprocessen worden verwijderd in Nederland veel informatie beschikbaar. Verwijdering moet vooral plaatsvinden door fysische processen, omdat de sporen erg resistent zijn tegen chemische desinfectie (2). Chloor is nauwelijks effectief en ook desinfectie met ozon heeft weinig effect. Met UV zijn de sporen te inactiveren, maar de *Clostridium perfringens*-sporen zijn iets minder gevoelig dan de (oö)cysten van *Cryptosporidium* en *Giardia* (8). Coagulatie/filtratie-processen inclusief actieve-koolfiltratie verwijderen circa 99% van de sporen (2, 9). Langzame-zandfiltratie en bodempassage zijn erg effectief en verwijderen meer dan 99,9% van de sporen (10).

Naast (sporen van) *Clostridium perfringens* wordt in de praktijk ook de analyse van het totaal aan 'Sporen van Sulfiet-Reducerende Clostridia' (SSRC) toegepast als indicator voor de verwijdering van de persistente micro-organismen *Cryptosporidium* en *Giardia* in zuiveringsprocessen. De SSRC-analyse toont meer organismen aan dan alleen sporen van *Clostridium perfringens* en afwezigheid van SSRC toont ook afwezigheid *Clostridium perfringens* aan. SSRC wordt ook gebruikt als een indicator voor (niet-recente) fecale verontreiniging in natuurlijke filtermaterialen en is in dat verband vooral van belang bij de ingangscntrole van ent- en filterzand (voor ontharding). In het verleden zijn hierin regelmatig verhoogde aantallen SSRC aangetroffen boven de eis van < 1 kve per 1 ml zand. Op basis daarvan is deze parameter opgenomen in de beoordelingsrichtlijn BRL-K240 van certificatie-instelling Kiwa Nederland voor zand en grind voor de drinkwaterproductie (6).

Referenties

- [1] https://en.wikipedia.org/wiki/Clostridium_perfringens.
- [2] Lamy, M.C., Sanseverino, i., Niegowska, M., Lettieri, T. (2020): Microbiological Parameters under the Drinking Water Directive - Current state of art on somatic coliphages and *Clostridium perfringens* and spores. JRC118219. European Union, Luxembourg. doi/10.2760/005492.
- [3] Hoogenboezem, W., Ketelaars, H.A.M., Medema, G.J., Rijs, G.B.J., Schijven, J.F. (2001): *Cryptosporidium* en *Giardia*: voorkomen in rioolwater, mest en oppervlaktewater met zwem- en drinkwaterfunctie. RIWA, Amsterdam.
- [4] <https://www.voedingscentrum.nl/encyclopedie/clostridium-perfringens.aspx>.
- [5] <https://encyclopedie.medicinfo.nl/Gasgangreen-Koudvuur/>
- [6] Meerkerk, M.A. (red.) (2020): Hygiënecode drinkwater. Deel 1: Algemeen. KWR | PCD 1-1. KWR Water Research Institute, Nieuwegein.
- [7] Hijnen, W.A.M., van der Veer, A.J., van Beveren, J., Medema, G.J. (2002): Spores of sulphite-reducing clostridia (SSRC) as surrogate for verification of the inactivation capacity of full-scale ozonation for *Cryptosporidium*. Wat. Sci. Tech. Water Supply 2, 163-170, doi:10.2166/ws.2002.0021.
- [8] Hijnen, W.A.M., Beerendonk, E.F., Medema, G.J. (2006): Inactivation credit of UV radiation for viruses, bacteria and protozoan (oo)cysts in water: A review. Water Res. 40, 3-22, doi:https://doi.org/10.1016/j.watres.2005.10.030 (2006).
- [9] Hijnen, W.A.M., Suylen, G.M.H., Bahlman, J.A., Brouwer-Hanzens, A., Medema, G.J. (2010): GAC adsorption filters as barriers for viruses, bacteria and protozoan (oo)cysts in water treatment. Water Res. 44, 1224-1234, doi:https://doi.org/10.1016/j.watres.2009.10.011 (2010).
- [10] Hijnen, W.A.M., Dullemon, Y.J., Schijven, J.F., Hanzens-Brouwer, A.J., Rosielle, M., Medema, G.J. (2007). Removal and fate of *Cryptosporidium parvum*, *Clostridium perfringens* and small-sized centric diatoms (*Stephanodiscus hantzschii*) in slow sand filters. Water Res. 41, 2151-2162, doi:https://doi.org/10.1016/j.watres.2007.01.056 (2007).
- [11] Meschke, J.S. and Girones, R. (eds), Part 3: Specific Excreted Pathogens: Environmental and epidemiology Aspects - Section 1: Viruses. In: Rose, B. and Jiménez-Cisneros, B. (eds) (2021). Water and Sanitation for the 21st Century: Health and Microbiological Aspects of Excreta and Wastewater Management (Global Water Pathogen Project). Michigan State University, E. Lansing, MI, UNESCO. <https://doi.org/10.14321/waterpathogens.11>

● Contrastmiddelen

Grondslag norm: indicator

Drinkwaterbesluit 2011: maximum waarde 1 µg/l ('Overige antropogene stoffen')

WHO: geen vermelding

EG-Drinkwaterrichtlijn 1998: geen vermelding

voorlopige richtwaarden RIVM: zie tabel 1 hieronder

Introductie

De contrastmiddelen zijn voornamelijk barium- en jodiumhoudende verbindingen voor röntgenonderzoek of CT-scans [1]. Deze contrastvloeistoffen worden aan patiënten toegediend om röntgenopnames of scans van weefsels te maken. De middelen worden ook wel contrastvloeistoffen genoemd. De volgende stoffen kunnen worden genoemd:

- jomeprol (CAS nummer 78649-41-9);
- johexol (CAS nummer 66108-95-0);
- jopromide (CAS nummer 73334-07-3);
- jomeprol (CAS nummer 78649-41-9);
- amidotrizoïnezuur (CAS nummer 117-96-4).

Ook bestaan gadoliniumhoudende verbindingen, die worden gebruikt voor MRI-onderzoek [1, 10, 11]:

- gadobutrol (CAS 138071-82-6), merknaam Gadovist en Gadograf (Bayer Schering);
- gadobeenzuur (CAS 80529-93-7), merknaam Multihance (Bracco Imaging Deutschland);
- gadoteridol (CAS 120066-54-8), merknaam Prohance (Bracco Imaging Deutschland).

Het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat stimuleert een gemeenschappelijke aanpak van de overheid, de medische sector en de (drink)watersector om medicijnresten in water te verminderen: de Ketenaanpak Medicijnresten uit Water. Binnen deze Ketenaanpak is er een specifiek werkplan voor contrastvloeistoffen opgesteld [1].

Herkomst

Contrastmiddelen worden in vergelijking met geneesmiddelen in relatief hoge doses toegepast en zijn over het algemeen slecht te verwijderen in de huidige zuiveringen voor drinkwater en in RWZI's [10]. Jaarlijks komt in Nederland naar schatting 30 ton contrastvloeistoffen in het oppervlaktewater terecht. Met de urine verlaten deze contrastvloeistoffen in het ziekenhuis of thuis het lichaam en komen via het riool en de RWZI in het oppervlaktewater terecht. Via het oppervlaktewater kunnen contrastvloeistoffen ook in het grondwater terechtkomen.

Contrastvloeistoffen worden slecht afgebroken in het milieu en blijven in het oppervlaktewater circuleren. Omdat oppervlaktewater wordt gebruikt als bron voor de bereiding van drinkwater en contrastvloeistoffen over het algemeen lastig zijn te verwijderen in de zuivering komt op sommige plekken in Nederland een deel hiervan in zeer lage concentraties in het drinkwater voor.

Blootstellingsroutes

Onder normale omstandigheden is er geen noemenswaardige blootstelling voor mensen aan contrastvloeistoffen. De voornaamste route is oraal, via injecties of via een infuus in het geval van röntgenopnames of het maken van MRI- of CT-scans van weefsels. Via het drinkwater is er sprake van een zeer geringe of geen blootstelling.

Gezondheidkundige betekenis

De gezondheidkundige betekenis van jodiumhoudende röntgencontrastvloeistoffen is geheel verwaarloosbaar [3]. De huidige gerapporteerde concentraties van contrastvloeistoffen liggen bovendien onder de gezondheidkundige richtwaarden van het RIVM voor deze stoffen [6], waardoor er geen effecten zijn te verwachten.

Het vrije gadoliniumion is sterk toxisch, maar het humane en ecologische risico van de concentraties gadoliniumhoudende contrastmiddelen in water is waarschijnlijk zeer laag en verdient nader onderzoek [11]. Uit een in Europees verband uitgevoerde studie blijkt dat bij gebruik van MRI-contrastvloeistoffen met gadolinium sporen kunnen achterblijven in de hersenen, waarbij echter geen bewijs is gevonden dat dit schadelijke gevolgen heeft [4]. Het College ter Beoordeling van Geneesmiddelen (CBG) heeft in januari 2018 uit voorzorg besloten om het gebruik voor MRI-scans te beperken [3].

Normen en richtlijnen verklaard

De signaleringswaarde geldt voor alle contrastvloeistoffen. Boven deze concentratie is er niet direct een risico voor de volksgezondheid.

Als aanvulling op de signaleringswaarde zijn voor een selectie van de (vooral humane) geneesmiddelen inclusief contrastmiddelen indicatieve richtwaarden voor drinkwater afgeleid, zie tabel 1 en de referenties [5] en [6]. Aangezien het afleiden van een dergelijke indicatieve gezondheidkundige grenswaarde een intensieve klus is en er regelmatig nieuwe geneesmiddelen worden toegelaten, is de afleiding van een dergelijke grenswaarde momenteel slechts voor enkele tientallen van de circa 2.000 toegelaten geneesmiddelen uitgevoerd [1].

Tabel 1 Overzicht van voorgestelde indicatieve drinkwaterrichtwaarden voor een selectie van contrastmiddelen uit een lijst van in totaal 36 stoffen (deze selectie is overgenomen uit [6]).

#	Stofnaam	CAS	Indicatieve richtwaarde (µg/l)
23	Amidotrizoïnezuur	117-96-4	250.000 (250 mg/l)
24	Johexol	66108-95-0	375.000 (375 mg/l)
25	Jomeprol	78649-41-9	1.000.000 (1 g/l)
26	Jopamidol	60166-93-0	415.000 (415 mg/l)
27	Joxitalaminezuur	28179-44-4	500.000 (500 mg/l)

Aanwezigheid in drinkwater(bronnen) en monitoring

Röntgencontrastvloeistoffen komen voor in oppervlaktewateren met gemiddelde concentraties tussen kleiner dan de detectielimiet en 0,2 µg/l. De hoogste gemiddelde concentratie is voor jomeprol. De concentraties van een aantal röntgencontrastvloeistoffen nemen toe: johexol, jopromide en jomeprol. De concentratie van amidotrizoïnezuur neemt daarentegen af ([RIWA](#)).

In grondwater varieert de gemiddelde concentratie van röntgencontrastvloeistoffen over de afgelopen vijf jaar tussen 0 en 0,03 µg/l. In de meest recente jaren komen de concentraties van alle middelen met uitzondering van jopromide, niet boven de detectielimiet ([REWAB](#)).

De jodiumhoudende röntgencontrastvloeistoffen amidotrizoïnezuur, jodipamide johexol, jomeprol, jopamidol, jopanoïnezuur, jopromide, jotalaminezuur, joxaglinezuur en joxitalaminezuur worden door sommige drinkwaterbedrijven meegenomen in het reguliere meetprogramma ([REWAB](#), [RIWA](#)).

In drinkwater worden vijf van de acht gemeten röntgencontrastvloeistoffen regelmatig boven de detectielimiet gerapporteerd en wel in concentraties van 0,0007 – 0,032 µg/l. Dit zijn amidotrizoïnezuur, johexol, jomeprol, jopromide en joxitalaminezuur. Geen van deze stoffen overschrijden de signaleringswaarde van 1 µg/l voor 'overige antropogene stoffen' in het [Drinkwaterbesluit](#) ([REWAB](#)).

Gadolinium is geen onderdeel van het standaard meetprogramma van waterbeheerders en drinkwaterbedrijven. De stof is in Nederland wel aangetoond in rioolwater, oppervlaktewater, grondwater en kustwater, en kan worden gebruikt als conservatieve tracer om humane invloed te identificeren [11]. Projectmatige metingen (niet recent) in Nederland laten zien dat het element gadolinium niet of in zeer lage concentraties in drinkwater voorkomt (meestal onder de detectielimiet van 0,1 – 0,5 µg/l). In 2011 rapporteerde Rijkswaterstaat concentraties gadolinium (afkomstig van mensen) tot 0,18 µg/l in de Rijn [11]. De meetwaarden voor gadolinium in grondwaterwingebieden zijn vaak onder de detectielimiet (< 0,1 – 0,5 µg/l), maar een aantal keer zijn er waarden boven de detectielimiet gemeten (> 0,1 µg/l). Voor drinkwater dat is bereid uit grondwater zijn weinig meetgegevens beschikbaar. De beschikbare gegevens lagen allemaal onder de detectielimiet.

Zuivering

De meeste jodiumhoudende contrastvloeistoffen zijn zeer goed wateroplosbaar. Voor de verwijdering van contrastmiddelen zijn conventionele zuiveringstechnieken niet geschikt en moeten geavanceerde technieken worden toegepast. Afhankelijk van het contrastmiddel is het met zuiveringstechnieken zoals **geavanceerde oxidatie** (bijvoorbeeld UV-waterstofperoxide) mogelijk om de concentraties van deze stoffen in het water te verlagen. De laatste optie voor het verwijderen van contrastvloeistoffen uit drinkwater is **omgekeerde osmose**.

Deze technieken blijken echter niet altijd effectief te zijn in het verwijderen van contrastmiddelen bij de bereiding van drinkwater. Nadelen zijn bovendien dat er ongewenste (mogelijk schadelijke) bijproducten kunnen worden gevormd en de technieken kostbaar zijn en extra energie verbruiken. Daardoor worden deze technieken in Nederland nauwelijks toegepast bij afvalwaterbehandeling en slechts deels bij de bereiding van drinkwater [10].

Deze stoffen binden door hun fysisch-chemische eigenschappen slecht aan zuiveringsslib in de RWZI en zijn slecht biodegradeerbaar. Daardoor zijn ze over het algemeen slecht uit het water te verwijderen [4, 5]. De verwijderingscapaciteit van een zuivering voor oppervlaktewater varieert voor de verschillende jodiumhoudende stoffen van 0 – 98% voor **bodempassage/zandfiltratie**, van 0 – 50% voor oxidatie via **ozonisatie** en van < 10 – < 50% voor **actieve-koolfiltratie** [6]. De concentraties in drinkwater bevinden zich heel ver onder de indicatieve gezondheidkundige richtwaarden van het RIVM.

MRI-contrastvloeistoffen kunnen gevoelig zijn voor UV-straling, maar daarbij kunnen verschillende omzettingen producten worden gevormd [7]. Voor oxidatie met behulp van ozon zijn deze contrastvloeistoffen niet gevoelig, maar soms wel voor reacties met hydroxylradicalen die een grote rol spelen bij **geavanceerde oxidatie** [8]. Over het algemeen zijn UV-straling en oxidatie weinig tot niet effectief voor deze stoffen. Gadoliniumhoudende contrastvloeistoffen kunnen niet worden verwijderd door middel van conventionele zuiveringsprocessen en **microfiltratie**. Daarvoor zijn ze te goed wateroplosbaar. **Omgekeerde osmose** is wel effectief [9].

Referenties

[1] Website rijksoverheid: 'Ketenaanpak Medicijnresten uit Water', beleidsnota, uitvoeringsprogramma 2018 – 2022, publicatiedatum 12 februari 2019.
<https://www.rijksoverheid.nl/documenten/beleidsnotas/2019/02/12/ketenaanpak-medicijnresten-uit-water>

[2] RIVM: 'Zoeksysteem Risico's van stoffen'.
<https://rvszoeksysteem.rivm.nl/>

[3] College ter beoordeling van geneesmiddelen (2018): 'Inperking gebruik gadolinium-contrastmiddelen bij MRI-scans', Nieuwsbericht 10-01-2018.
<https://www.cbg-meb.nl/actueel/nieuws/2018/01/10/inperking-gebruik-gadolinium-contrastmiddelen-bij-mri-scans>

[4] Brauch, H.-J., Sacher, F., en Thoma, A. (2014): 'Aantasting van de toestand van het water van de Rijn door jodiumhoudende röntgencontrastmiddelen in cijfers; *Data, feiten en strategieën voor*

mogelijke oplossingen', verslag van een IAWR-studie, DVGW, Karlsruhe.

<https://www.riwa-rijn.org/wp-content/uploads/2015/11/IDF1075-RIWA-IAWR-RKM-Studie-TZW-2014.pdf>

[5] Evenblij, H., Moll, S., Schuman, E., en Kujawa-Roeleveld, K. (2016): 'Inventarisatie Röntgencontrastmiddelen', rapport WATBE4100R001WW, Royal HaskoningDHV Nederland B.V. in opdracht van het Ministerie van Infrastructuur en Milieu, Amersfoort.

https://www.royalhaskoningdhv.com/nederland/-/media/royalhaskoningdhvcorporate/files/global/literature/watbe4100r001ww_inventarisatie_contrastmiddelen.pdf

[6] Leerdam, R.C. van, Janssen, P.J.C.M., Aa, N.G.F.M. van der, en Versteegh, J.F.M. (2018): 'Risicobeoordeling 42 opkomende stoffen in oppervlaktewaterbronnen voor drinkwaterbereiding; Probleemstoffen op basis van Protocol monitoring en toetsing drinkwaterbronnen KRW', RIVM Briefrapport 2018-0080, Bilthoven.

<https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2018-0080.pdf>

[7] Birka, M., Roscher, J., Holtkamp, M., Sperling, M., and Karst, U. (2016): 'Investigating the stability of gadolinium based contrast agents towards UV radiation', Water Research 91, pages 244 – 250.

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26802476/>

[8] Cyris, M., Knolle, W., Richard, J., Dopp, E., Sonntag, C. von, and Schmidt, T.C. (2013): 'Reaction of Gadolinium Chelates with Ozone and Hydroxyl Radicals', Environmental Science and Technology 47 (17), pages 9942 – 9949.

<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/es402219u>

[9] Lawrence, M.G., Keller, J., and Poussade, Y. (2010): 'Removal of magnetic resonance imaging contrast agents through advanced water treatment plants', Water Science and Technology, 61 (3), pages 685 – 692.

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20150705/>

[10] Nijhuis, N.J., Hofman-Caris, C.H.M., Béen, R.F., en Reus A.A. (2020): 'Contrastmiddelen in drinkwaterbronnen en drinkwater', Rapport KWR 2020.018, KWR Water Research Institute, Nieuwegein.

<https://library.kwrwater.nl/publication/60904067/>

[11] Kools, S.A.E., Roskam, G.D., Verheul, M.R.A., en Pieters, B.J. (2013): 'MRI contrast media, Magnetic Resonance Imaging (MRI) contrast media in het aquatisch milieu', RIWA rapport.

https://www.riwa-rijn.org/wp-content/uploads/2015/04/RIWA_Rapport_MRI_POD_01.pdf

● Cryptosporidium en Giardia

Drinkwaterbesluit 2011: infectierisico lager dan 1 infectie per 10.000 inwoners

WHO-richtlijnen 2017: 10^{-6} DALY richtwaarde correspondeert met $1,05 \times 10^{-4}$ per liter

EU Drinkwaterrichtlijn 2020: geen vermelding

Herkomst

Cryptosporidium en *Giardia* zijn eencellige darmparasieten (protozoa) die zich uitsluitend kunnen vermeerderen in een geschikte gastheer. Ze zijn niet gastheer-specifiek en kunnen verschillende diersoorten (inclusief de mens) infecteren. Ze zijn aanzienlijk groter dan bacteriën, respectievelijk 3 tot 7 µm en 9 tot 18 µm.

Begin vorige eeuw is *Cryptosporidium* beschreven als darmparasiet bij muizen, maar pas veel later (1976) is ze geassocieerd met ziekte en sterfte bij de mens. Doordat *Cryptosporidium* regelmatig werd aangetroffen bij aidspatiënten en een groot percentage aan de gevolgen van de infectie overleed, steeg de interesse in de epidemiologie, diagnose, therapie en preventie [1]. In 1993 is *Cryptosporidium* voor het eerst in Nederlands oppervlaktewater aangetoond [2].

Er is een aantal soorten *Cryptosporidium* beschreven: *C. parvum* en *C. muris* bij zoogdieren, waarvan *C. parvum* de belangrijkste ziekteverwekker voor de mens en landbouwhuisdieren is, *C. baileyi* en *C. meleagridis* bij vogels, *C. serpentis* bij reptielen en *C. nasorum* bij vissen [3]. Meer dan 90% van de humane gevallen wordt veroorzaakt door *C. hominis* of *C. parvum* [4]. *Cryptosporidium parvum* en *hominis* hebben een complexe levenscyclus die wordt doorlopen in één enkele gastheer [1]. De infectie van de gastheer wordt veroorzaakt door het inslikken van oöcysten. De levenscyclus bevat een aantal opeenvolgende stadia van asexuele en seksuele voortplanting die resulteren in de productie van dik- en dunwandige oöcysten. De dunwandige oöcysten kunnen dezelfde gastheer opnieuw infecteren (auto-infectie); de dikwandige oöcysten worden uitgescheiden in de feces en zijn zeer resistent tegen milieu-invloeden. Auto-infectie heeft tot gevolg dat de darmwand zwaar wordt geïnfecteerd en dat er hoge aantallen oöcysten worden uitgescheiden [1].

Giardia is circa 300 jaar geleden al beschreven door Anthonie van Leeuwenhoek en wordt nu wereldwijd gezien als een van de meest voorkomende diarree-verwekkende parasieten bij de mens. De levenscyclus is minder complex dan die van *Cryptosporidium*. De levenscyclus van *G. lamblia* is eenvoudig en omvat twee ontwikkelingsstadia: overlevingsstadium (cyste) en het actieve stadium (trofozoïet). De cyste is het infectieuze stadium dat wordt uitgescheiden met de feces en die resistent is tegen milieu-invloeden. Vermeerdering van de parasiet vindt asexueel plaats door deling van de trofozoïeten. Tijdens het passeren van het eind van de dikke darm transformeert de trofozoïet tot een cyste.

Oöcysten van *Cryptosporidium* en cysten van *Giardia* komen in oppervlaktewater terecht door lozingen van gezuiverd en ongezuiverd rioolwater, lozingen van kalvermestbedrijven en slachthuizen, afspoeling van mest van landbouwdieren en door uitwerpselen van in het wild levende zoogdieren en vogels [4]. Met name de mest van jonge vleeskalveren die op het land wordt uitgereden, vormt een belangrijke bron van *Cryptosporidium* en *Giardia* in oppervlaktewater. De mest van kalveren jonger dan een half jaar bevatte tot $5,2 \times 10^7$ oöcysten per kg en tot $3,2 \times 10^7$ cysten per kg [5]. *Cryptosporidium* is ook aangetroffen in legkippen, schapen, geiten, koeien en schapen [5, 6].

Als gevolg van de lange verblijftijd van grondwater in de bodem en de filterende werking van de bodem zijn in goed beschermd grondwater geen ziekteverwekkende protozoa te verwachten. In minder goed beschermd grondwater kunnen ze wel voorkomen.

Blootstellingsroutes

Een mens kan worden geïnfecteerd met *Cryptosporidium* of *Giardia* via verschillende routes. Directe routes zijn besmetting door contact met geïnfecteerde mensen of dieren. Indirecte routes zijn besmetting van (drink)water, voedsel, zand, voorwerpen en contactpunten [1, 7]. De directe routes zijn voor de mens en landbouwhuisdieren de belangrijkste. Er zijn veel gevallen/kleine epidemieën beschreven in kinderdagverblijven en bij mensen in contact met landbouwhuisdieren [1].

Inname van slechts een kleine hoeveelheid (oö)cysten kan bij gezonde personen tot een *Cryptosporidium* of *Giardia*-infectie leiden [4, 7]. Bij immuun-gecompromitteerden is een *Cryptosporidium*-infectie al mogelijk na inname van slechts een enkele oöcyst [4].

De meeste *Cryptosporidium*-infecties in Nederland betreffen kinderen beneden de tien jaar en de incidentie neemt sterk toe aan het eind van de zomer, wanneer een scherpe piek wordt gezien in het aantal *C. hominis*-infecties. Het dominante genotype betreft een *C. hominis* dat bij runderen niet voorkomt. Dit duidt erop dat (net als in vele andere gebieden in West-Europa) de *Cryptosporidium*-overdracht in Nederland kan zijn gerelateerd aan blootstelling via besmet zwembadwater [4].

Giardia-infecties komen bij alle leeftijden voor, maar in Nederland vooral bij kinderen tussen de vijf en veertien jaar, en komen vooral voor gedurende de maanden augustus, september en oktober [7].

Gezondheidskundige betekenis

Infectie met *Cryptosporidium* veroorzaakt acute diarree die in principe zelflimiterend is [4]. De diarree kan variëren van zeer intens en waterdun tot matig en intermitterend, en gaat vaak gepaard met darmkrampen. De mate van klachten hangt onder andere af van de immuun-status van de patiënt. In sommige gevallen kan de infectie zich uitbreiden over de gehele dunne en dikke darm. Daarnaast kan bij personen met een zeer ernstige verstoring van het immuunsysteem de ziekte verspreiden naar de galwegen, de galblaas en in zeldzame gevallen kan een infectie in de longen voorkomen. Bij immuun-competente personen verdwijnen de klachten meestal na 2 tot 3 weken met een maximum van 5 weken, maar bij immuun-gecompromitteerden kunnen de klachten vele maanden tot zelfs jaren aanhouden of tot de dood leiden, doordat extreme uitdroging optreedt. Het sterftepercentage is erg laag bij immuun-competente personen (< 0,01%), maar is hoog bij immuun-gecompromitteerden, zoals aidspatiënten (50%) [4].

Ziekteverschijnselen van een *Giardia*-infectie lopen uiteen van geen of milde klachten tot een chronisch ziektebeeld dat maanden kan aanhouden. De helft van de *Giardia*-infecties verloopt asymptomatisch, dat wil zeggen zonder dat de persoon het merkt. Bij een symptomatische patiënt treedt met name diarree op, vaak gepaard gaande met gasvorming, misselijkheid en buikkrampen. Veelal zal de parasiet na 2 tot 3 weken niet meer aantoonbaar zijn in de feces, waarna de diarreeklachten ook zullen verdwijnen. Er kan echter ook sprake zijn van een chronisch intermitterend ziektebeeld, waarbij asymptomatische perioden worden afgewisseld met perioden van diarree met als gevolg gewichtsverlies, gevoel van algehele malaise en vermoeidheid [6].

In Nederland zijn *Cryptosporidium* besmettingen via drinkwater nooit aangetoond, al is *Giardia* tijdens de epidemie van diarree-gevallen in het Scheepvaartkwartier in Rotterdam (maart 1981) in relatief hoge frequentie (8%) aangetroffen [1].

Het meest bekende voorbeeld van een grootschalige besmetting van *Cryptosporidium* vond plaats in Milwaukee (Verenigde Staten) in 1993. Daar brak een epidemie uit met meer dan 400.000 ziektegevallen. Uitbraken komen ook in Europa voor. Eind 2010 was er een uitbraak van *Cryptosporidium* in het Zweedse Östersund met 12.700 zieken. De oorzaak lag in rioolwater dat zonder behandeling in een stroompje uitkwam, dat weer naar een meer ging waaruit water werd gewonnen voor de bereiding van drinkwater [5].

In veel landen is sprake van een seizoensgebonden patroon van een *Cryptosporidium*- of *Giardia*-infectie, onder andere door blootstelling aan zwemwater en een toename aan vakantie-reizen gedurende de zomermaanden [5, 6].

Normen en richtlijnen verklaard

In het Drinkwaterbesluit is opgenomen dat de concentraties *Cryptosporidium* en *Giardia* in drinkwater zo laag moeten zijn dat het risico op een infectie lager is dan 1 infectie per 10.000 personen per jaar. Deze concentratie is dermate laag (< 1 (oö)cyst per ruim 800 m³ drinkwater) dat het niet mogelijk is om deze daadwerkelijk te meten. In plaats daarvan dient een drinkwaterbedrijf dat oppervlaktewater gebruikt voor de bereiding van drinkwater, de protozoa-concentraties te meten in het oppervlaktewater. Samen met gegevens over de verwijderingscapaciteit bij de verschillende zuiveringsprocessen (inclusief eventuele bodempassages) en in overleg met de ILT-inspecteur wordt een kwantitatieve risicoanalyse voor het bereide drinkwater opgesteld. Het 'Richtsnoer Analyse Microbiologische Veiligheid Drinkwater (AMVD)' [8] kan hiervoor worden gebruikt. Het Richtsnoer is op 27 november 2020 gepubliceerd op de website van de ILT en vervangt vanaf die datum de eerdere Inspectierichtlijn [8]. Indien het berekende infectierisico groter is dan de genoemde grenswaarde, dient het drinkwaterbedrijf met de inspecteur te overleggen over de te nemen maatregelen. De inspecteur kan bepalen dat voor kwetsbare grondwaterwinningen eenzelfde risicoanalyse wordt uitgevoerd, waarbij ook het ILT-richtsnoer kan worden gebruikt.

Aanwezigheid in drinkwaterbronnen en monitoring

Cryptosporidium en *Giardia* zijn wereldwijd aanwezig in het oppervlaktewater [6]. In Nederland zijn in het Maas- en Rijnstroomgebied gemiddelde aantallen (gecorrigeerd voor het rendement van de meetmethode) gemeten van 1,4 tot 87 oöcysten per liter en 1,5 tot 95 cysten per liter [9]. Deze aantallen liggen in dezelfde orde van grootte als in het buitenland [6].

In ruw stedelijk afvalwater zijn gemiddelde aantallen gevonden van 540 en 4.650 oöcysten per liter en 1.220 tot 21.300 cysten per liter. Deze aantallen werden door de RWZI teruggebracht tot 17 en 250 oöcysten/l respectievelijk 13 tot 250 cysten/l. De zuiveringsefficiëntie van de RWZI's varieerde van 1,3 tot 2 logeenheden [5].

Eind vorige eeuw zijn in het laatste open water van drinkwaterbedrijven die oppervlaktewater gebruiken aantallen gemeten variërend van 0,12 tot 18 oöcysten/l (*Cryptosporidium*) en 0,03 tot 43 cysten/l (*Giardia*) [11]. In de periode 2008 – 2021 zijn in het uitgaande water van de spaarbekkens in de Biesbosch gemiddeld 0,03 (oö)cysten aangetroffen [11].

Zuivering

De(oö)cysten van *Cryptosporidium* en *Giardia* zijn (door hun pantserachtige structuur) zeer resistent tegen chemische desinfectiemiddelen, zoals chloor en chloordioxide. Desinfectie met ozon is effectief in het inactiveren van de (oö)cysten. Bij lagere temperaturen is desinfectie met ozon minder effectief en ozon heeft als nadeel dat het kankerverwekkende bromaat wordt gevormd. Ook lage- of middendruk-UV is zeer effectief: 99,98% inactivatie wordt al bereikt bij een lage UV-dosis van 19 mJ/cm² [6]. Langzame-zandfiltratie is een effectieve mechanische verwijderingsmethode. Coagulatie en filtratie of flotatie verwijderen 1 tot 2 logeenheden van de protozoa [1, 10, 13]. Actieve-koolfiltratie kan een reductie van meer dan 2 logeenheden opleveren [14]. Daarnaast levert de wateropslag in spaarbekkens met een gemiddelde verblijftijd van 5 maanden een reductie op van 1 tot 2 log-eenheden [2].

Referenties

[1] Medema, G.J., Ketelaars, H.A.M. (1995). Betekenis van *Cryptosporidium* en *Giardia* voor de drinkwatervoorziening. H₂O 28, 699-704, 709.

[2] Ketelaars, H.A.M., Medema, G.J., van Breemen, L.W. C. A., van der Kooij, D., Nobel, P.J., Nuhn, P. (1995). Occurrence of *Cryptosporidium* oocysts and *Giardia* cysts in the River Meuse and removal in the Biesbosch storage reservoirs (the Netherlands). Aqua 44 Suppl. 1, 108-111.

- [3] Payer, R., Speer, C. A. en Dubey, J. P. (1990). General biology of *Cryptosporidium*. In: J. P. Dubey, C. A. Speer en R. Fayer (eds). *Cryptosporidiosis of man and animals*. CRC Press. Boca Raton: 1-29.
- [4] <https://lci.rivm.nl/richtlijnen/cryptosporidiose>
- [5] Hoogenboezem, W., Ketelaars, H.A.M., Medema, G.J., Rijs, G.B.J., Schijven, J.F. (2001). *Cryptosporidium* en *Giardia*: voorkomen in rioolwater, mest en oppervlaktewater met zwem- en drinkwaterfunctie. RIWA, Amsterdam.
- [6] Medema, G., Teunis, P., Blokker, M., Deere, D., Davison, A., Charles, P., Loret, J.F. (2009). Risk Assessment of *Cryptosporidium* in Drinking-water. WHO/HSE/WSH/09.04. WHO, Genève.
- [7] <https://lci.rivm.nl/richtlijnen/giardiasis>.
- [8] Rutjes, S., Harold van den Berg, H., Schijven, J., (2021). Richtsnoer Analyse Microbiologische Veiligheid Drinkwater vervangt Inspectierichtlijn 5318. H2O-Online / 4 februari 2021.
- [9] Ketelaars, H., Medema, G., Hoogenboezem, W., Ruiters, H. (2000). *Cryptosporidium* en *Giardia* in oppervlaktewater en de benodigde zuiveringscapaciteit. H₂O 23, 18-21.
- [10] WHO. (2017). Guidelines for drinking-water quality. Fourth edition incorporating the first addendum. WHO, Genève.
- [11] Medema, G., Nobel, P., Ketelaars, H. van der Kooij, D. (2000). *Cryptosporidium* en *Giardia* in bekkens en beken. H₂O 23, 22-24.
- [12] Evides, ongepubliceerde gegevens.
- [13] Hijnen, W.A.M., Medema, G.J. (2009). Elimination of micro-organisms by water treatment processes. A review. BTO 2003.013-third edition. KWR, Nieuwegein.
- [14] Hijnen, W., Suylen, T., Bahlman, J., Medema, G. (2011). Actievekoolfiltratie als barrière voor micro-organismen in drinkwaterbereiding. H₂O 08, 41-43.

● Cyaniden (totaal)

Grondslag norm: gezondheidkundig

Drinkwaterbesluit 2011: maximum waarde 50 µg/l

WHO 2022: geen richtwaarde

EU Drinkwaterrichtlijn 2020: parameterwaarde 50 µg/l

Herkomst

Een cyanide is een chemische verbinding die het CN-ion of een CN-functionele groep bevat (cyanogroep). Vooral bekend zijn de verbindingen waterstofcyanide (HCN, blauwzuur), het kaliumzout van blauwzuur (KCN, kaliumcyanide; ook wel cyaankali genoemd) en het calciumzout (Ca(CN)₂, calciumcyanide), vanwege hun snelle werking als vergif [1].

Cyaniden worden geproduceerd door bepaalde bacteriën, schimmels en algen [1]. Cyaniden worden vooral aangetroffen in sommige voedselproducten, met name in cassave [3]. Ook kunnen bepaalde pitten en zaden zoals die van abrikozen, appels en perziken, aanzienlijke hoeveelheden cyaniden bevatten [1].

Cyaniden worden in fabrieken gebruikt bij het maken van nylon en bepaalde synthetische vezels en hars. Ook kan cyanide vrijkomen bij het verbranden van plastic. Veel ongediertebestrijdingsmiddelen zoals rattengif, bevatten cyaniden.

Door het mondiale normalisatie-instituut ISO is het totaal aan cyaniden als volgt gedefinieerd: *‘de som van sommige organisch gebonden cyaniden, vrije cyanide ionen, complexe verbindingen, en het in enkelvoudig metaalcyanide gebonden cyanide, met uitzondering van de cobaltcomplex gebonden cyaniden en de thiocyanationen’*.

Blootstellingsroutes

Onderzoek heeft aangetoond dat dagelijkse blootstelling aan cyaniden via voedsel met name relevant is voor ontwikkelingslanden waar veel cassave wordt geconsumeerd [3]. Blootstelling aan cyaniden via drinkwater gebeurt uitsluitend na een industriële verontreiniging [3].

Gezondheidkundige betekenis

Bijna alle literatuur over de gezondheidkundige betekenis van cyaniden betreft onderzoek naar het voedselgewas cassave dat een groot aandeel in het dieet vormt voor 300 tot 500 miljoen mensen in ontwikkelingslanden. Als cassave niet op de juiste wijze wordt bereid, kan het hele hoge gehalten aan cyaniden bevatten.

Een hoge dosis cyaniden kan zorgen voor ademhalingsproblemen of een hartstilstand. Het op lange termijn binnenkrijgen van kleine hoeveelheden cyaniden kan uiteindelijk leiden tot schildklierproblemen, schade aan het zenuwstelsel, gewichtsverlies en neurologische problemen [3].

Cyanide is acuut giftig, maar cyanidevergiftiging komt in Nederland slechts zelden voor.

Normen en richtlijnen verklaard

De WHO heeft in 2003 een richtwaarde afgeleid van 70 µg/l die is gebaseerd op een studie met varkens waaruit een aanvaardbare dagelijkse dosis van 12 µg/kg lichaamsgewicht is berekend. Voor de allocatie aan drinkwater is 20% toegepast [3]. Later heeft de WHO bepaald geen richtwaarde meer te geven, omdat de concentraties in drinkwater altijd ver onder de gezondheidkundige grenswaarde liggen met als enige uitzondering een noodsituatie na een grote industriële lozing [4].

Nederland en de EU hebben geen reden gezien hun grenswaarde te wijzigen (op basis van het stand-still-principe) en blijven bij de waarde van 50 µg/l. Deze grenswaarde zou een allocatie aan drinkwater van 14% inhouden [2].

Aanwezigheid in drinkwater(bronnen) en monitoring

Volgens het Drinkwaterbesluit en de Drinkwaterregeling dient de parameter 'Cyaniden (totaal)' te worden gemeten in ruw oppervlaktewater en in drinkwater (na de laatste zuiveringsstap of aan het tappunt).

In ruw oppervlaktewater wordt het totaal aan cyaniden sporadisch aangetroffen (in de jaren 2016 en 2020), net boven de rapportagegrens van 1 µg/l. RIWA-Rijn meldt in het jaarrapport van 2017 eenmaal een hoge concentratie (76 µg/l) bij Lobith.

Tussen 2015 en 2020 is het totaal aan cyaniden in drinkwater na de laatste zuiveringsstap (af pomp) niet aangetroffen. Dit geldt voor drinkwater met zowel oppervlakte- als grondwater als bron. De rapportagegrens ligt tussen de 1 en 2 µg/l. Ter indicatie: per jaar worden ongeveer 240 metingen in drinkwater uitgevoerd (totaal voor alle drinkwaterbedrijven in Nederland).

Zuivering

Aangezien het om een klein ion gaat, zal coagulatie/flocculatie/sedimentatie gevolgd door zandfiltratie of 'dissolved air flotation' (DAF, na flocculatie) niet effectief zijn. Dit kleine, eenwaardige ion kan evenmin met behulp van micro-, ultra- of nanofiltratie worden verwijderd. Omgekeerde osmose zou cyaniden wel grotendeels moeten kunnen verwijderen. Adsorptie aan actieve kool is weliswaar mogelijk, maar niet heel effectief. Cyanide kan worden geoxideerd met behulp van ozon of geavanceerde oxidatieprocessen en ook tijdens chloring van water (maar dat wordt in Nederland onder normale omstandigheden niet toegepast) [5]. Ionenwisseling wordt in Nederland op beperkte schaal toegepast, maar zou wel effectief zijn voor de verwijdering van cyanide uit water. De vorming van een cyanide-rijke afvalwaterstroom (regeneraat/concentraat) is een aandachtspunt bij toepassing van omgekeerde osmose en ionenwisseling. Onder aerobe omstandigheden is biologische omzetting van cyanide naar ammonium mogelijk [6].

Referenties

[1] <https://nl.wikipedia.org/wiki/Cyanide>.

[2] Van Dijk-Looijaard, A.M. (1993). Herziening Normen Waterleidingbesluit. SWO 92.294. KIWA, Nieuwegein.

[3] WHO. (2003). Cyanide in Drinking-water. Background document for development of WHO *Guidelines for Drinking-water Quality*. WHO/SDE/WSH/03.04/05. WHO, Geneva.
[General Description \(who.int\)](#)

[4] WHO. (2022). Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first and second addenda. Geneva: World Health Organization;.

[5] Hijosa-Valsero, M., Molina, R., Schikora, H., Müller, M., Bayona, J.M. (2013): Removal of cyanide from water by means of plasma discharge technology, *Water Research* 47, 1701 – 1707.

[6] Botza, M.M., Mudderb, T.I., and Akcile, A. (2005): 'Cyanide treatment: Physical, chemical and biological processes', Chapter 36.

• Diergeneesmiddelen

Grondslag norm: indicator

Drinkwaterbesluit 2011 (overige antropogene stoffen): maximum waarde 1 µg/l

WHO: geen vermelding

EG-Drinkwaterrichtlijn 1998: geen parameterwaarde

Introductie

Tussen de vele organische microverontreinigingen die in oppervlaktewater voorkomen, bevinden zich ook geneesmiddelen en afbraakproducten daarvan. Deze stoffen worden ook wel ‘medicijnresten’ genoemd. Er is onderscheid te maken in geneesmiddelen voor de mens (humane geneesmiddelen) en geneesmiddelen voor dieren (veterinaire geneesmiddelen). De humane geneesmiddelen, antibioticaresistentie en contrastmiddelen kennen aparte factsheets in de Wegwijzer Waterkwaliteit. De herkomst, beoordelingskaders en emissieroutes verschillen ten opzichte van de diergeneesmiddelen. Voor drinkwater zijn de onderdelen ‘Blootstellingsroutes’, ‘Gezondheidskundige betekenis’, ‘Normen en richtlijnen verklaard’ en ‘Zuivering’ voor deze groepen stoffen grotendeels identiek.

Diergeneesmiddelen omvatten vooral antibiotica, anti-parasitaire middelen en hormonen. Ook zijn coccidiostatica (tegen specifieke darmparasieten), hart- en vaatmiddelen, en pijnstillers van belang. De middelen kunnen verschillen in de toepassing voor gezelschapsdieren (huisdieren) of landbouwhuisdieren (melkvee, pluimvee, paarden, et cetera).

Het is vaak lastig om bij het aantreffen van de stoffen de exacte herkomst aan te geven, omdat sommige stoffen in zowel humane geneesmiddelen als diergeneesmiddelen worden toegepast. Ook worden stoffen soms toegepast in andere werkvelden. Zo worden de stoffen in anti-parasitaire geneesmiddelen als fipronil, imidacloprid, permethrin ook gebruikt als bestrijdingsmiddel [7].

Herkomst

In Nederland wordt jaarlijks ongeveer 140 ton aan medicijnresten op het oppervlaktewater geloosd via RWZI's [1], maar dat is voornamelijk gebaseerd op de emissies van humane geneesmiddelen. Over diergeneesmiddelen bestaan nog weinig exacte cijfers [6]. In tegenstelling tot de humane geneesmiddelen komen resten van diergeneesmiddelen hoofdzakelijk niet via het riool in het oppervlaktewater terecht. De route via de bodem wordt als meer relevant gezien, maar veel is nog onduidelijk [6,7].

Stoffen uit diergeneesmiddelen die worden gebruikt in de veehouderij of bij huisdieren kunnen direct en via de mest in het water terecht komen. Sloten langs akkers ontvangen stoffen uit diergeneesmiddelen die afspoelen en uitspoelen uit de bodem [1, 6, 7]. De wijze waarop diergeneesmiddelen zich verspreiden, is van een groot aantal factoren afhankelijk waaronder de precieze eigenschappen van de stoffen uit geneesmiddelen en de specifieke bodem- en weerscondities. Niet alle diergeneesmiddelen spoelen uit naar oppervlaktewater of grondwater. Een aantal bindt aan de bodem, wordt opgenomen door planten of wordt vrij snel afgebroken [1]. De totale vracht aan diergeneesmiddelen is veel minder bekend dan voor de humane geneesmiddelen. Onderzoek aan de emissies van diergeneesmiddelen zal de komende jaren meer duidelijkheid brengen welke concentraties worden aangetroffen in oppervlaktewater en grondwater [6, 7].

Blootstellingsroutes

De bijdrage aan de inname van (dier)geneesmiddelen via drinkwater is zeer waarschijnlijk klein, want de tot nu toe bekende concentraties liggen ver beneden de gezondheidskundige risicogrenswaarden, inclusief veiligheidsmarges [1]. Het aandeel van de opname door mensen via

het eten van vlees en vis is nog onduidelijk, omdat de dieren direct of indirect (via het milieu) zijn blootgesteld aan geneesmiddelen. De risico's via deze route zijn nog onopgehelderd [1].

Gezondheidskundige betekenis

Geneesmiddelen zijn stoffen die per definitie invloed hebben op de gezondheid. Om die reden worden ze geproduceerd en gebruikt. Van geneesmiddelen (ook die voor dieren) is dus heel goed bekend wat het effect is op de menselijke gezondheid. Er is heel weinig bekend over de concentraties diergeneesmiddelen in de bronnen voor drinkwater. Pas als dat bekend is, kan er met meer zekerheid over worden gesproken. Voor een aantal veel voorkomende geneesmiddelen zijn indicatieve drinkwaterrichtwaarden afgeleid [5], maar niet voor diergeneesmiddelen.

Normen en richtlijnen verklaard

De stoffen in deze groep vallen onder de parameter 'overige antropogene stoffen' in de groep 'Signaleringsparameters' uit het [Drinkwaterbesluit](#) en de [Drinkwaterregeling](#). Deze groep parameters is bedoeld om de kwaliteit van de bron te bewaken. Wanneer de maximum waarde van 1 µg/l voor een stof wordt overschreden, is er nog geen risico voor de volksgezondheid, maar zal er nader onderzoek plaatsvinden naar de aard en herkomst van de stof.

Voor een aantal veel voorkomende geneesmiddelen zijn indicatieve drinkwaterrichtwaarden afgeleid [5], maar voor diergeneesmiddelen ontbreekt dit inzicht nog grotendeels [6, 7].

Aanwezigheid in drinkwater(bronnen) en monitoring

In Nederland worden vooral humane geneesmiddelen gemonitord in bronnen voor drinkwater. Minder specifiek is de aandacht voor diergeneesmiddelen: tussen de 130 stoffen (in grondwater) en 270 (in oppervlaktewater). In totaal 44 zijn minstens eenmaal gemeten met een waarde boven de detectielimiet, maar geen van de stoffen overschrijdt de signaleringswaarde in de [Drinkwaterregeling \(REWAB\)](#). Vanuit de WHO is er geen noodzaak om routinematige metingen van geneesmiddelen in drinkwater te doen, ook niet voor diergeneesmiddelen.

Zuivering

Geneesmiddelen zijn vaak goed wateroplosbaar en daardoor lastig uit water te verwijderen. Met een eenvoudige zuivering bestaande uit [beluchtungs](#)- en [filtratie](#)stappen die voor grondwater vaak volstaat, worden geneesmiddelen nauwelijks of niet verwijderd [1]. Typisch zijn [conventionele zuiveringsprocessen](#) minder effectief voor het verwijderen van veel organische verbindingen, met name degenen die meer oplosbaar zijn in water [1, 4]. Modernere zuiveringstechnieken als [actieve-koolfiltratie](#), [omgekeerde osmose](#) en [\(geavanceerde\) oxidatie](#) zijn over het algemeen erg effectief voor de verwijdering en/of afbraak van geneesmiddelen en hun metabolieten. Bij [omgekeerde osmose](#) ontstaat er een geconcentreerde hoeveelheid water met relatief hoge concentraties microverontreinigingen dat op een of andere manier verder moet worden verwerkt. Bij [oxidatie](#)-processen kunnen omzettings- en bijproducten worden gevormd en daarom moet daarna over het algemeen een filtratieproces (bijvoorbeeld over actieve kool) volgen. Afhankelijk van de aard van een geneesmiddel kan uitsluitend [actieve-koolfiltratie](#) effectief zijn, maar mede omdat de kool regelmatig moet worden gereactiveerd, is dit een relatief duur proces.

De WHO vindt het niet noodzakelijk om aanvullende of gespecialiseerde waterbehandeling in te zetten om de concentraties aan werkzame stoffen uit geneesmiddelen in drinkwater te verminderen [2].

Aanvullende informatie

Het RIVM heeft een website met meer informatie over 'geneesmiddelen in het milieu', zie <https://www.rivm.nl/geneesmiddelen-in-milieu>.

Over diergeneesmiddelen staat informatie op de RIVM-website risico van stoffen: zie <https://rvs.rivm.nl/stoffen-en-producten/diergeneesmiddelen>.

Het College ter Beoordeling van Geneesmiddelen (CBG) biedt informatie aan over de toegelaten middelen en stoffen in Nederland via <https://www.diergeneesmiddeleninformatiebank.nl/nl/>



Referenties

- [1] Moermond, C.T.A., Smit, C.E., Leerdam, R.C., Aa, N.G.F.M. van der, Montforts, M.H.M.M. (2016): 'Geneesmiddelen en waterkwaliteit', RIVM Briefrapport 2016-0111, RIVM, Bilthoven.
<https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2016-0111.pdf> (zie ook <https://www.rivm.nl/publicaties/geneesmiddelen-en-waterkwaliteit>)
- [2] World Health Organization (2017): 'Guidelines for drinking-water quality; Fourth edition incorporating the first addendum', ISBN 978-92-4-154995-0, Geneva.
<https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/254637/9789241549950-eng.pdf;jsessionid=2664217407E6F72C0DD4BA2B94E7D61B?sequence=1>
- [3] Derksen, A., en Laak, T. ter (2013): 'Humane geneesmiddelen in de waterketen', rapport STOWA 2013-06, Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer, Amersfoort.
<https://www.stowa.nl/sites/default/files/assets/PUBLICATIES/Publicaties%202013/STOWA%202013-06.pdf> (zie ook <https://www.stowa.nl/publicaties/humane-geneesmiddelen-de-waterketen>)
- [4] Hofman-Caris, R., and Hofman, J. (2017): 'Limitations of Conventional Drinking Water Technologies in Pollutant Removal', Handbook of Environmental Chemistry, volume 67, pages 21 – 51.
https://link.springer.com/chapter/10.1007/698_2017_83
- [5] RIVM (2019): 'Beleidsmatig vaststellen 36 drinkwaterrichtwaarden', memo, RIVM, Bilthoven.
https://rvs.rivm.nl/sites/default/files/2019-04/SG2019-03%20Memo%20vaststellen%20drinkwaternormen%20voor%2036%20stoffen_aangepast%20190321.pdf
- [6] Kennisimpuls Waterkwaliteit (2020-2021): 'Diergeneesmiddelen: bronnen, routes en risico's', onderzoek naar diergeneesmiddelen.
<https://kennisimpulswaterkwaliteit.nl/nl/themas/diergeneesmiddelen-bronnen-routes-en-risicos>
- [7] Lahr, J., *et al.* (2019): 'Diergeneesmiddelen in het milieu', rapport STOWA 2019-26, Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer, Amersfoort.
<https://www.stowa.nl/sites/default/files/assets/PUBLICATIES/Publicaties%202019/STOWA%202019-26%20synthese%20diergeneesmiddelen%20v2.pdf>

● Diglyme(n)

Grondslag norm: signalering

Drinkwaterbesluit 2011: maximum waarde 1 µg/l

WHO 2022: geen vermelding

EU Drinkwaterrichtlijn 2020: geen vermelding

Herkomst

Glymen zijn organische oplosmiddelen die veel worden gebruikt in de chemische industrie. De stoffen worden bijvoorbeeld toegepast als oplosmiddel bij de productie van insecticiden en als ingrediënt van verfverwijderingsmiddelen en andere chemische reinigingsmiddelen. Glymen zijn kleurloze vloeistoffen die zeer goed mengen met water. De bouwsteen van een glyme is een glycolether. Afhankelijk van het aantal bouwstenen waaruit een molecuul bestaat, is er sprake van di-, tri- of tetraglyme. De meest voorkomende varianten zijn diglyme en triglyme³.

Diglyme (diëthyleenglycoldimethylether) is een kleurloze vloeistof met een lage viscositeit die mengbaar is met water en verschillende organische oplosmiddelen. Diglyme is in staat om een grote hoeveelheid stoffen op te lossen, waaronder ook oliën en harsen. Diglyme is polair maar heeft geen hydroxylgroepen en is inert. Dit maakt diglyme tot een geschikt oplosmiddel en reactiemedium voor verschillende toepassingen [1].

Blootstellingsroutes

Diglyme is een stabiele stof en is matig persistent in het milieu. In het milieu is water waarschijnlijk het belangrijkste transportmedium voor diglyme vanwege de hoge oplosbaarheid en lage vervluchtiging vanuit water. Natte depositie treedt eenvoudig op bij diglyme en de halfwaardetijd in de atmosfeer is kort, waardoor het luchttransport over lange afstanden waarschijnlijk beperkt is. Diglyme werd in het verleden ook gebruikt als toevoeging aan cosmetica, maar sinds 2009 is het gebruik van diglyme in cosmetica niet meer toegestaan in de EU. De toepassing van diglyme is in meerdere landen (waaronder Frankrijk) ook uit gefaseerd in medicijnen voor mens en dier, en is gekozen voor alternatieve oplosmiddelen voor de meeste farmaceutische toepassingen [1].

Gezondheidkundige betekenis

Diglyme staat op de CMR- (carcinogeen, mutageen en reproductietoxisch) en ZZS- (zeer zorgzame stoffen) lijsten [2].

Diglyme is niet acuut toxisch voor aquatische organismen. In dierstudies met knaagdieren zijn schadelijke effecten op de voortplanting geconstateerd. Diglyme bleek met name teratogeen (schadelijk voor de ongeboren vrucht), een effect dat waarschijnlijk wordt veroorzaakt door een metabooliet van diglyme: 2-(methoxy)azijnzuur. Uit een voortplantingsstudie met konijnen kon een NOAEL-waarde van 25 mg/kg/dag worden afgeleid op basis van effecten op de ontwikkeling [3]. De acute toxiciteit van diglyme is laag na orale blootstelling. De stof is licht irriterend voor huid en ogen. Via *in vitro*-testen zijn geen aanwijzingen gevonden dat diglyme een genotoxische of kankerverwekkende werking heeft [3].

Voor diglyme heeft het RIVM een indicatieve richtwaarde voor drinkwater afgeleid van 440 µg/l op basis van een indicatieve TDI van 0,05 mg/kg lichaamsgewicht/dag en 25% allocatie van deze TDI aan drinkwater. De indicatieve TDI is gebaseerd op een orale NOAEL van 25 mg/kg lichaamsgewicht/dag uit een ontwikkelingstoxiciteitstudie in konijnen (toegepaste assessmentfactor 500: 10 interspecies, 10 intraspecies, 5 voor incomplete dataset inclusief onzekerheid over hoogte van de orale NOAEL voor testeseffecten) [4].

³ De aanduiding 'diglyme(n)' in Bijlage A van het Drinkwaterbesluit roept vragen op. 'Glymen' zou meer voor de hand liggen.

De Benchmark Quotiënt (BQ) die is gebaseerd op de maximaal aangetroffen concentratie in oppervlaktewater gedeeld door de indicatieve drinkwaterrichtwaarde van enkele oppervlaktewaterbedrijven varieerde van 0,001 tot < 0,001. Een BQ beneden de 0,1 duidt erop dat de kans op een risico voor de gezondheid van mensen bij inname van diglyme via drinkwater verwaarloosbaar klein is, zelfs als in de zuivering niets zou worden verwijderd. Dit geldt voor mensen in alle levensstadia, inclusief baby's en kinderen.

Normen en richtlijnen verklaard

Het Drinkwaterbesluit noemt 'diglyme(n)' in drinkwater in Tabel IIIc 'Signaleringsparameters' met een maximum waarde van 1 µg/l. In de Nota van Toelichting van het Drinkwaterbesluit [5] wordt verder vermeld *'dat diglymen stoffen zijn waarvoor de risicogrens gebaseerd op gezondheidsaspecten enkele honderden µg/l is. Aangezien de stof moeilijk te verwijderen is de signaleringswaarde gesteld op 1 µg/l.'* Dit betekent dat de wet- en regelgeving diglyme schaaft onder stoffen die vanuit het voorzorgsprincipe dienen te worden gemonitord (en emissie in het milieu zoveel mogelijk moet worden beperkt, zie webpagina [ZZS beleid - Kenniscentrum InfoMil](#)) en niet omdat de overheid acute risico's voor de volksgezondheid voorziet bij aanwezigheid van diglyme in ingenomen water in concentraties rond de signaleringswaarde.

Aanwezigheid in drinkwater(bronnen) en monitoring

De parameter diglyme(n) moet volgens de Drinkwaterregeling in het ruwe water worden gemeten. Het meten van die parameter in drinkwater is geen vereiste.

De twee gerapporteerde stoffen (te weten tetra-ethyleenglycoldimethylether en bis(2-methoxyethyl)ether) worden in 88% van de meetlocaties aangetroffen in ruw oppervlaktewater. Dit neemt toe met de jaren, wat mogelijk te maken heeft met een verlaging van de rapportagegrens. De rapportagegrens ligt tussen de 0,01 en 0,2 µg/l. Het gemeten maximum (van 3,1 naar 0,3 µg/l) en de mediaan van de metingen in ruw oppervlaktewater (rond de rapportagegrens van 0,05 µg/l) neemt af met de jaren. In 2015 leidde een concentratie van 3,9 µg/l bij Bimmen/Lobith tot een innamestop in de Rijn, maar dat is in de jaren daarna niet meer voorgekomen [11].

In ruw grondwater worden diglymen in 6% van de locaties aangetroffen. De gemeten mediaan per jaar ligt onder de rapportagegrens van 0,05 µg/l. Maxima in ruw grondwater liggen tussen 0,26 en 0,31 µg/l.

Zuivering

Diglyme is een zeer polaire stof die daarom heel mobiel is en zich moeilijk laat verwijderen uit het water [6]. Geavanceerde oxidatie met ozon/waterstofperoxide en UV/waterstofperoxide resulteert in een gedeeltelijke afbraak van diglyme, ozon/waterstofperoxide zet circa 50% om [7, 8, 10]. Uit een onderzoek van Van Rooyen [9] blijkt dat diglyme slecht wordt verwijderd tijdens duinpassage en actieve-koolfiltratie. Diglyme wordt soms in lage concentraties in drinkwater aangetroffen.

Referenties

[1] Pancreas, T., Hoijsink, R. (2022). Brononderzoek drinkwaterrelevante stoffen, Tien stoffen in het Rijnstroomgebied. Rapport in opdracht van Rijkswaterstaat WVL. Arcadis, Assen.

[2] <https://rvszoekstysteem.rivm.nl/>

[3] WHO. (2002). Concise International Chemical Assessment Document (CICAD) 41. Diethylene glycol dimethylether. WHO, Geneva.

[4] Leerdam, R.C. van, Janssen, P.J.C.M., Aa, N.G.F.M. van der, Versteegh, J.F.M. (2018): Risicobeoordeling 42 opkomende stoffen in oppervlaktewaterbronnen voor drinkwaterbereiding; Probleemstoffen op basis van Protocol monitoring en toetsing drinkwaterbronnen KRW. Briefrapport 2018-0080, RIVM, Bilthoven. <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2018-0080.pdf>



- [5] [stb-2011-293.pdf \(officielebekendmakingen.nl\)](#).
- [6] Puijker, L.M., Steen, R.J.C.A., Houtman C.J., Oorthuizen, W.A. (2008). Inventarisatie van bedreigingen voor de waterkwaliteit van Duinwaterbedrijf Zuid-Holland. KWR Watercycle Research Institute/ Het Waterlaboratorium. Nieuwegein/ Haarlem.
- [7] Grossmann, D., Köser, H., Kretschmer, R., Porobin, M. (2001). Treatment of diglyme containing wastewater by advanced oxidation--process design and optimization. Water Sci Technol 44, 287-93.
- [8] Martijn, B.J., Kamp, P.C., Kruithof, J.C. (2008). UV/H₂O₂ Treatment: An Essential Barrier in a Multi Barrier Approach for Organic Contaminant Control. IUVA News 10.
- [9] van Rooyen C.T.G. (2006). Gedrag van 'vergeten stoffen' tijdens bodempassage. Master Thesis. Technische Universiteit Delft.
- [10] Knol A.H., Lekkerkerker-Teunissen K., Houtman C.J., Scheideler J., Ried A., van Dijk J.C. (2015): 'Conversion of organic micropollutants with limited bromate formation during the Peroxone process in drinking water treatment', Drinking Water Engineering and Science, 8, 25–34, 2015.
- [11] RIWA-Rijn (2016): 'Jaarrapport 2015; De Rijn', Vereniging van Rivierwaterbedrijven, Nieuwegein.
[IDF1331-RIWA-jaarrapport-NL-2015-internet-kl-1.pdf \(riwa-rijn.org\)](#)

• DOC/TOC en Oxideerbaarheid

DOC/TOC:

Grondslag norm: bedrijfstechnisch

Drinkwaterbesluit 2011: maximum waarde 'Geen abnormale verandering' ('Indien DOC/TOC (dissolved organic carbon/total organic carbon) niet wordt bepaald, dan dient de oxideerbaarheid met KMnO_4 te worden bepaald (norm 5,0 mg/l O_2)')

Richtwaarde WHO: geen vermelding

Europese Drinkwaterrichtlijn 2020: parameterwaarde 'Geen abnormale verandering' (TOC) ('Deze parameter hoeft niet te worden gemeten bij een waterlevering van minder dan 10.000 m³ per dag')⁴

Oxideerbaarheid:

Grondslag norm: bedrijfstechnisch

Drinkwaterbesluit 2011: oxideerbaarheid is niet als aparte parameter in het Drinkwaterbesluit opgenomen, maar wordt uitsluitend genoemd in een voetnoot bij de parameter DOC/TOC, zie h).

Richtwaarde WHO: geen vermelding

Europese Drinkwaterrichtlijn 2020: parameterwaarde 5,0 mg/l O_2 ('Deze parameter hoeft niet te worden gemeten indien de TOC-parameter wordt geanalyseerd')

Herkomst

Grondstoffen voor drinkwater bevatten altijd organisch koolstof, afkomstig van de natuurlijke biologische activiteit die in het water plaatsvindt. Het gaat om koolstof afkomstig van planten, dieren en micro-organismen. De term 'TOC' verwijst naar 'totaal organisch koolstof', de term 'DOC' naar 'opgelost ('dissolved') organisch koolstof' (niet alle organisch koolstof lost op in water).

Blootstellingsroutes

Een deel van het DOC/TOC wordt tijdens de bereiding van drinkwater verwijderd. Dit gebeurt om de kleur en smaak van het water te verbeteren en om bacteriegroei in het water tegen te gaan. Het is echter niet nodig om al het in water aanwezige DOC/TOC te verwijderen. Via drinkwater worden mensen er dus in enige mate aan blootgesteld, maar dat levert geen problemen op voor de gezondheid.

Gezondheidskundige betekenis

Er bestaat geen directe relatie tussen DOC/TOC en gezondheidseffecten. Wel kan de aanwezige organische stof het water een wat gelige kleur geven en de smaak beïnvloeden, maar dat is niet schadelijk voor de gezondheid. In landen waar water met behulp van chloor wordt gedesinfecteerd, kunnen wel schadelijke desinfectiebijproducten (DBP) zoals trihalomethanen ontstaan door reacties tussen DOC en chloor. Om die reden wordt naar een zo laag mogelijke concentratie DOC gestreefd. In Nederland wordt geen chloor toegepast voor desinfectie en speelt daarom deze kwestie minder, maar wordt wel geprobeerd de concentratie aan kleine DOC-moleculen (het zogenaamde bio-assimileerbare deel, AOC) zo laag mogelijk te houden. De betreffende stoffen dienen namelijk als voedsel voor micro-organismen en door deze fractie te

⁴ De parameter 'DOC' met een bijbehorende parameterwaarde komt in de Europese Drinkwaterrichtlijn niet voor.

verwijderen kan bijvoorbeeld bacteriegroei worden tegengegaan. Dit draagt er dan weer aan bij om geen chloor te hoeven gebruiken om het drinkwater microbiologisch veilig te houden.

Normen en richtlijnen verklaard

Het Drinkwaterbesluit geeft geen maximum waarde voor DOC/TOC maar stelt dat er geen abnormale verandering in de concentratie DOC/TOC in het drinkwater mag optreden [1]. DOC is een 'bedrijfstechnische parameter' die verband houdt met het bio-assimileerbare deel van het DOC (AOC), dat voor nagroei van bacteriën in het leidingnet kan zorgen [2]. Er is echter geen vaste verhouding tussen de concentraties AOC en DOC in verschillende typen water.

In het geval de parameter DOC en/of TOC niet kan worden bepaald, moet volgens het Drinkwaterbesluit de oxideerbaarheid van het water met kaliumpermanganaat (KMnO_4) worden bepaald. Daarvoor is dan een maximum waarde van 5,0 mg/L O_2 van toepassing. Sommige drinkwaterbedrijven gebruiken deze parameter als vervanging van DOC- en TOC-metingen. Als indicator voor de werking van een oxidatieproces in de zuivering is de oxideerbaarheid enigszins voorspellend voor de concentratie DOC/TOC in het water. Het is echter beter om rechtstreeks de concentratie DOC en TOC te meten.

Aanwezigheid in drinkwater(bronnen) en monitoring

Volgens de Drinkwaterregeling [5] moet de concentratie DOC worden gemeten na de laatste zuiveringsstap of aan het tappunt, volgens de frequentie die in Tabel II van bijlage 3 van de Drinkwaterregeling wordt weergegeven.

Tussen 2015 en 2020 is DOC aan het tappunt elk jaar op alle locaties boven de rapportagegrens (0,5 – 1 mg/l) gemeten. De mediaanconcentratie (2,2 mg/l) ligt boven de rapportagegrens. Het maximum dat is gemeten, is 68 mg/l in 2015. Tussen 2015 en 2020 is TOC aan het tappunt op gemiddeld 82% van de gerapporteerde locaties boven de rapportagegrens (0,5 – 1 mg/l) gemeten. Er is geen trend in dit percentage. De mediaanconcentratie (1,7 mg/l) ligt boven de rapportagegrens. Het maximum dat is gemeten, is 1.200 mg/l in 2018.

Zuivering

Zoals in het bovenstaande is aangegeven is TOC de concentratie aan totale organische koolstof, terwijl DOC naar het opgeloste deel hiervan verwijst. Het niet opgeloste deel wordt meestal in de vorm van deeltjes verwijderd via zand-/snelfiltratie in een van de eerste zuiveringsstappen.

DOC bestaat uit een mengsel van verschillende componenten, met verschillende eigenschappen [7]. Een deel van het DOC (meestal de grootste moleculen, ca 50%) wordt tijdens conventionele zuivering met coagulatie en filtratie verwijderd [3].

Er bestaan verschillende soorten membraanfiltratietechnieken die worden gekarakteriseerd aan de hand van de grootte van de moleculen die de membranen kunnen doorlaten. Dit betekent dat microfiltratie (met de grootste 'poriën') deeltjes en de grootste moleculen kan tegenhouden, en dat omgekeerde osmose (RO) vrijwel alle moleculen verwijdert. Ultrafiltratie en nanofiltratie zitten hier tussenin en kunnen dus een deel van het DOC tegenhouden.

Oxidatieprocessen kunnen een deel van het DOC afbreken. Geavanceerde oxidatieprocessen (ozon en waterstofperoxide) kunnen een groter deel van het DOC afbreken dan bijvoorbeeld ozon alleen [4]. Hoeveel afbraak er precies plaatsvindt, hangt af van de samenstelling van het DOC en het type oxidatieproces dat wordt toegepast.

Actieve kool is een effectief adsorbens voor DOC. Bij gebruik van poederkool zal de kool dan ook een groot deel van het DOC adsorberen. Poederkolen hebben een zeer groot oppervlak en adsorptie is relatief snel. Actieve kool kan ook in de vorm van filterbedden met granulaire kool worden toegepast. Deze filterbedden worden meestal gedurende 1,5 tot 2 jaar gebruikt. Na enkele maanden raken deze filters verzadigd met DOC en zullen die weinig DOC meer verwijderen. Wel groeit er op deze granulaire kool in de regel een biofilm die in staat is om de kleine moleculen (het eerder genoemde AOC) uit het DOC te verwijderen.



In Nederland wordt ionenwisseling in vaste bedden of geïndustrialiseerde bed reactoren toegepast, om DOC selectief en effectief te verwijderen [6].

Referenties

- [1] Nederlandse Overheid. *Drinkwaterbesluit*. 2021 13-10-2021 07-01-2022]; 13-10-2021:[Available from: <https://wetten.overheid.nl/BWBR0030111/2021-10-13>.
- [2] Van Dijk-Looijaard, A.M., *Herziening Normen Waterleidingbesluit*, K.O.e. Advies, Editor. 1993, KIWA Onderzoek en Advies: Nieuwegein. KIWA-rapport swo 93.340
- [3] Marais, S.S., E.J. Ncube, T.A.M. Msagati, B.B. Mamba, and T.T.I. Nkambule, *Comparison of natural organic matter removal by ultrafiltration, granular activated carbon filtration and full scale conventional water treatment*. Journal of Environmental Chemical Engineering, 2018. **6**(5): p. 6282-6289.
- [4] Park, H., T.Y. Kim, D. Woo, and Y.S. Cho, *Comparison of O₃ + GAC, O₃ + H₂O₂ + GAC, and GAC unit operation on natural organic matter and taste and odor causing compounds removal using a pilot plant study*. Water Science and Technology: Water Supply, 2015. **15**(6): p. 1383-1395.
- [5] Drinkwaterregeling
- [6] Schipper D. (2004): Vitens Fryslân gaat drinkwater ontkleuren via ionenwisseling. H2O 20-2004 34-38
- [7] Kroesbergen J., Brinck K. ten, Kaaij T. van der. (2009). Karakterisering van natuurlijk organisch materiaal. H2O 21-2009 46-48
- [8] Koeman-Stein N., Palmen L., Ruijven J. van. (2018): Actief koolfiltratie voor de glastuinbouw. KWR rapport 2018.033

• EDTA

Grondslag norm: indicator

Drinkwaterbesluit 2011: maximum waarde 1 µg/l (overige antropogene stoffen)

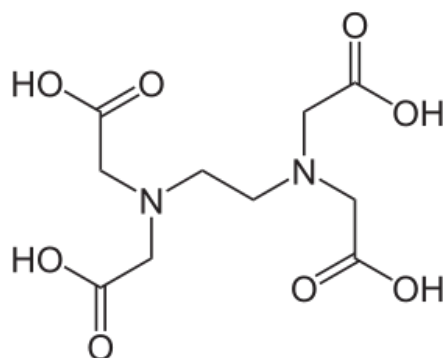
WHO 2017: richtwaarde 600 µg/l (gezondheidskundig)

Europese Drinkwaterrichtlijn 2020: geen vermelding

Herkomst

Ethyleendiaminetetra-azijnzuur (EDTA) wordt voornamelijk geproduceerd en toegepast als zuur (H_4EDTA) en als natriumzout (Na_4EDTA). EDTA komt in meerdere chemische vormen voor in het milieu. De vier carboxylaatgroepen en de twee stikstofatomen kunnen door de bouw van het molecuul een configuratie aannemen waardoor er een metaalion in past dat dan vrij sterk wordt gebonden en in oplossing wordt gehouden. Om die reden wordt EDTA toegepast als complexvormer in vele verscheidene toepassingen [1].

Figuur 1 Structuurformule EDTA (CAS nr. 60-00-4).



In de geneeskunde wordt EDTA veelvuldig toegepast om giftige metalen te verwijderen [2]. In de tandheelkunde wordt EDTA gebruikt als spoelmiddel bij een wortelkanaalbehandeling. Het natriumzout van EDTA is een gebruikelijke component in oogdruppels, contactlensvloeistoffen en reinigingsmiddelen. Het wordt ook gebruikt in persoonlijke verzorgings- en hygiëneproducten zoals shampoos, vloeibare zeep, crèmes en lotions [2]. Huishoudelijke schoonmaakmiddelen bevatten ook vaak EDTA. EDTA wordt aan een breed scala van voedselproducten toegevoegd, zoals ingeblikte garnalen en paddenstoelen, en diepvriespatat. Het wordt toegevoegd aan saladedressings als goedhouder [2].

EDTA wordt in vele industriële processen toegepast, waaronder galvaniseerbedrijven en de papierindustrie. Daarnaast wordt het gebruikt in de landbouw, fotochemicaliën, geneesmiddelen en textiel [2].

In totaal gaat het om enorme hoeveelheden EDTA. In 1999 werd in West-Europa 34.500.000 kg EDTA verkocht [4] en in 1986 alleen al 15.000.000 kg in het toenmalige West-Duitsland [2].

De belangrijkste bronnen van emissie van EDTA in het milieu zijn huishoudelijk afvalwater (als gevolg van toepassing in zeep en schoonmaakmiddelen) en industriële effluenten [5].

EDTA dat in het water terechtkomt, vormt oplosbare complexen met metalen en aardalkalimetalen (onder andere beryllium, magnesium, calcium en barium). EDTA is slechts beperkt biologisch afbreekbaar. Afbraak kan plaatsvinden onder bepaalde omstandigheden (bijvoorbeeld een basische pH of co-metabolisme). Microbiële oxidatie vindt plaats bij alle koolstofcentra, wat erop wijst dat EDTA uiteindelijk compleet kan worden gemineraliseerd [5]. Verschillende onderzoeken hebben laten zien dat opgehoopte bacteriecultures kunnen worden verkregen van EDTA-afbrekende micro-organismen. Er zijn drie bacteriestammen (waaronder *Agrobacterium* sp.) geïsoleerd die EDTA compleet kunnen

afbreken [4].

EDTA kan ook worden afgebroken door fotolyse met een halfwaardetijd van 20 dagen. Onder anaerobe omstandigheden (oevergrondwater) is de afbraak vrijwel nihil. EDTA heeft een lage vluchtigheid, waardoor vervluchtiging geen rol speelt in de verwijdering van EDTA vanuit de waterfase. Door de ionische structuur van EDTA bij in het milieu relevante pH-waarden vindt waarschijnlijk geen adsorptie plaats van EDTA aan deeltjes of sediment [6].

Door het gebruik van complexvormers zoals EDTA te vermijden, die te vervangen door andere stoffen of EDTA-houdende afvalstromen decentraal te behandelen, zijn de emissies sinds het midden van de jaren '90 al duidelijk verminderd. Ook de digitalisering van de fotografie heeft bijgedragen tot een reductie van de gebruikte hoeveelheid EDTA [7].

Blootstellingsroutes

De mens wordt op vele verschillende wijzen (waaronder via drinkwater, voedsel, verzorgingsproducten en medische toepassingen) blootgesteld aan EDTA. De blootstelling aan EDTA uit drinkwater is waarschijnlijk zeer gering in vergelijking met blootstelling uit andere bronnen [2].

Gezondheidskundige betekenis

Bij hoge blootstellingen aan EDTA kunnen gezondheidseffecten optreden, onder meer als gevolg van de verminderde beschikbaarheid van zink.

De gezondheidskundige betekenis van de concentraties EDTA zoals die in drinkwater worden aangetroffen, zijn verwaarloosbaar klein, ook voor kinderen en baby's.

In zoogdieren wordt EDTA slecht geabsorbeerd door de huid en door het maagdarmkanaal. EDTA wordt tegelijk met gebonden metalen door het lichaam uitgescheiden, voornamelijk via de urine. De acute orale toxiciteit van EDTA is laag. Uit experimenten waarbij ratten gedurende een lange periode werden blootgesteld aan EDTA kon een NOAEL van 500 mg/kg/dag worden afgeleid voor Na₂EDTA [4, 13].

EDTA heeft ook een lage toxiciteit voor aquatische organismen. Voor acute blootstelling is de laagst bepaalde LC₅₀-waarde 159 mg/L voor vissen. De voorspelde geen-effect-concentratie voor een aquatisch ecosysteem bedraagt 2.200 µg/l [6]. EDTA hoopt niet op in aquatische organismen [6].

Normen en richtlijnen verklaard

Volgens het Drinkwaterbesluit geldt voor EDTA de signaleringswaarde voor overige antropogene stoffen van 1 µg/l in ruw- en reinwater. Deze signaleringswaarde wordt voor de drinkwaterbedrijven die oppervlaktewater als bron gebruiken, zowel in het ruwe water als in het drinkwater altijd overschreden. Het RIVM heeft daarom een indicatieve drinkwaterrichtwaarde afgeleid voor EDTA. Die waarde voor EDTA bedraagt 600 µg/l [9]. De WHO hanteert deze waarde ook als richtlijn [10].

Aanwezigheid in drinkwater(bronnen) en monitoring

Vanuit de publiekrechtelijke regelgeving voor drinkwater bestaat vooralsnog geen verplichting voor het meten van EDTA in (bronnen voor) drinkwater. Aan het tappunt zijn (dus) geen metingen beschikbaar voor EDTA. In ruwwater is/wordt door de drinkwaterbedrijven wel gemeten.

In een onderzoek naar 50 voor de watercyclus relevante 'nieuwe' stoffen werd EDTA in de hoogste concentraties in de bron en in drinkwater aangetroffen [11].

Tussen 2015 en 2020 is EDTA in oppervlaktewater in gemiddeld 88% van de gerapporteerde winpunten aangetroffen. Er is geen trend in dit percentage. De rapportagegrens ligt tussen de 1 en 5 µg/l. De mediaanconcentratie over de jaren is 6,3 µg/l. Het maximum gemeten over de jaren ligt tussen de 37 en 52 µg/l.

Tussen 2016 en 2020 is EDTA in ruw grondwater in gemiddeld 47% van de gerapporteerde winpunten aangetroffen. Er is een stijgende trend in dit percentage. In 2015 is EDTA niet aangetroffen. Dit kan verband houden met de relatief hoge rapportagegrens voor de meeste metingen in dat jaar. De rapportagegrens ligt tussen de 0,01 en 5 µg/l. De mediaanconcentratie

(1,7 µg/l) ligt onder de hoogste rapportagegrens. Het maximum gemeten over de jaren ligt tussen de 13 en 44 µg/l. Ook in grondwater buiten de beschermingsgebieden wordt EDTA in grote mate aangetroffen (twee derde van alle meetpunten [14], zie ook [13]).

In de ILT-rapportages tussen 2015 – 2020 [3] wordt EDTA jaarlijks vermeld als een (inmiddels) bekende stof. Zo vermeldt het ILT-rapport over 2015 een aantal van 24 keer overschrijdingen van de signaleringswaarde, maar is niet duidelijk hoeveel metingen dit betreft. In 2016 wordt het aantal overschrijdingen door EDTA niet specifiek genoemd in de hoofdtekst, maar in de tabellen staan 9 locaties en 57 EDTA-concentraties waarvan 42 overschrijdingen (74%). In 2017 worden 37 overschrijdingen van de signaleringswaarde vermeld (van de 177 metingen) en dat aantal is exact gelijk aan het aantal in 2018 met evenveel metingen. In 2019 wordt het hoogste aantal overschrijdingen van de signaleringswaarde vermeld (183 van de 306 metingen), terwijl dat aantal in 2020 weer is gedaald naar 143 overschrijdingen van de signaleringswaarde (van de 279 metingen). Hiermee is in 2019 en 2020 meer dan de helft van de metingen hoger dan de signaleringwaarde.

Tabel 1 Overschrijdingen van EDTA in de jaarrapportages van ILT [3].

jaar	overschrijdingen	aantal metingen	% overschreden
2015	24	n.b.	n.b.
2016	42	57	74
2017	37	142	26
2018	37	142	26
2019	183	306	60
2020	143	279	51

Zuivering

In zuiveringsinstallaties ten behoeve van drinkwater en afvalwaterzuiveringen wordt EDTA gedeeltelijk afgebroken, waarbij de verwijderingspercentages sterk variëren: 17% tot 90% [4]. In het risico-evaluatierapport van de EU [4] wordt de effectiviteit van verschillende zuiveringsstappen voor de verwijdering van EDTA geëvalueerd. Uit monitoringsstudies blijkt dat gedurende oeverfiltratie langzame afbraak van EDTA plaatsvindt onder zowel aerobe als anaerobe omstandigheden (20% afbraak na 1 – 8 dagen tot 53% afbraak na 150 – 300 dagen). EDTA wordt niet afgebroken tijdens langzame-zandfiltratie. Wel bindt de stof aan actieve kool, maar al bij behandeling van kleine volumes water vindt doorslag plaats (< 15 m³/kg). EDTA wordt geoxideerd door ozon, waarbij oxaalzuur, glyoxylzuur, iminodiazijnzuur, nitraat en ammonium geïdentificeerd zijn als reactieproducten. In laboratoriumexperimenten werd een effectieve oxidatie waargenomen met UV/H₂O₂ en ozon/H₂O₂ [4]. Dit werd in de praktijk bevestigd: concentraties EDTA in het bereik van 2,5 – 6,5 µg/l werden volledig afgebroken tijdens de waterbehandeling met UV/H₂O₂ [12].

Referenties

[1] <https://nl.wikipedia.org/wiki/Ethyleendiaminetetra-azijnzuur>.

[2] WHO (2003): Edetic acid (EDTA) in drinking-water, Background document for development of WHO Guidelines for drinking-water quality. WHO/SDE/WSH/03.04/58. WHO, Genève.

[3] jaarrapportages van ILT

[4] ECB (2004): European Union Risk Assessment Report. Edetic acid (EDTA). Volume: 49 EUR 21314 EN. European Chemicals Bureau, Luxemburg.

[5] US EPA (2004): Decision Document for ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA) and its salts. Tolerance reassessment decisions completed by the lower toxicity pesticide chemical focus group. United States Environmental Protection Agency, Washington DC.

[6] van Herwijnen R., Fleuren R.H.L.J. (2009): Environmental risk limits for EDTA. RIVM-rapport 6017822028/2009. RIVM, Bilthoven.

[7] Internationale Commissie ter Bescherming van de Rijn. (2012): Evaluatierapport complexvormers. IKS-R-CIPR-ICBR Rapport 196. ICBR, Koblenz.

[8] <https://rvs.rivm.nl/onderwerpen/normen/consumenten/kwaliteitseisen-drinkwater>

[9] van Leerdam, R.C., Janssen, P.J.C.M., van der AA, N.G.F.M, Versteegh, J.F.M. (2018): Risicobeoordeling 42 opkomende stoffen in oppervlaktewaterbronnen voor drinkwaterbereiding. Probleemstoffen op basis van Protocol monitoring en toetsing drinkwaterbronnen KRW. RIVM-rapport 2018-0080. RIVM, Bilthoven.

[10] World Health Organization (2017): Guidelines for drinking-water quality; Fourth edition incorporating the first addendum. WHO, Genève.

[11] Schriks, M., van der Kool, M., Heringa, M., van Wezel, A. (2009): Gezondheidskundige evaluatie van 'nieuwe stoffen' in grond-, oppervlakte- en drinkwater. H₂O 22, 29-31.

[12] Martijn B.J., Kamp P.C., Kruithof J.C. (2008): UV/H₂O₂ Treatment: An essential barrier in a multi barrier approach for organic contaminant control. IUVA News 10 (4) 12-19.

[13] Zwartsen, A. (2021): Invloed metaal-EDTA complexen op drinkwaterrichtwaarden. KWR.

[14]

https://waterkwaliteitsportaal.overheidsbestanden.nl/Grondwaterkwaliteit/GrondwaterkwaliteitRapportage/Documentatie/KWR%20.2020.067%20Grondwaterkwaliteit%20Nederland%202020_VanLoonEA.pdf

● Enterococcen

Grondslag norm: gezondheidskundig

Drinkwaterbesluit 2011: maximum waarde 0 kve/100 ml

WHO 2022: indicator voor fecale verontreiniging

Europese Drinkwaterrichtlijn 2020: parameterwaarde 0 kve/100 ml

Herkomst

Enterococcen zijn bacteriën van het geslacht *Enterococcus*, facultatief anaerobe, gram-positieve melkzuurbacteriën, die veelal voorkomen in paren of korte ketens (1). De WHO-richtlijn beschrijft vier enterococcensoorten (voorheen intestinale enterococcen, fecale streptococcen of fecale enterococcen genoemd) waarvan de relatie met fecale bronnen duidelijk en geaccepteerd is: *Enterococcus faecalis*, *E. faecium*, *E. durans* en *E. hirae* (2). Deze subgroep van de enterococcen is afgescheiden van de rest, omdat de soorten van die groep relatief specifiek zijn voor een fecale verontreiniging (2). Ze komen ook in aantallen per gram feces vaker en meer voor dan de andere enterococcen die mogelijk van fecale afkomst kunnen zijn. Aanvullend onderzoek in het drinkwater in Nederland en België heeft zes extra soorten enterococcen in verband gebracht met fecale bronnen: *E. casseliflavus*, *E. gallinarum*, *E. moraviensis*, *E. haemoperoxidus*, *E. avium* en *E. mundtii* (3). De overige enterococcen hoeven niet van fecale afkomst te zijn, omdat bij meerdere soorten is aangetoond dat die ook kunnen groeien op planten, in waterbodems en dergelijke (4).

De enterococcen worden gebruikt als indicator voor fecale verontreiniging. De meeste enterococcen vermenigvuldigen zich niet in water. De aantallen in humane feces zijn in het algemeen 4 – 10 keer lager dan die van *Escherichia coli* (2, 5). Enterococcen werden tot nog toe beschouwd als meer persistent dan *E. coli* in water. Met dit argument hadden ze een toegevoegde waarde als fecale indicator. Uit onderzoek is gebleken dat de persistentie van beide indicatoren in oppervlaktewater weinig verschilt en *E. coli* soms zelfs langer overleeft (6). Enterococcen zijn echter resistenter tegen desinfectie en uitdroging dan *E. coli* (2, 7). Daarom moeten intestinale enterococcen worden beschouwd als een aanvullende microbiologische parameter (naast *E. coli*) om een fecale verontreiniging van het drinkwater aan te tonen (3). Enterococcen worden ook gebruikt om de waterkwaliteit te testen na een reparatie in het leidingnet of na de aanleg van nieuwe leidingen (2).

Medio april 2020 is het gebruik van de MALDI-TOF methode als snelle, alternatieve bevestigingsmethode bij de bepaling van onder andere enterococcen goedgekeurd (8). In navolging van de RT-PCR methode voor snelle detectie van *E. coli* is ook de RT-PCR methode voor enterococcen opgezet, de validatie hiervan loopt. Met de RT-PCR methode is binnen 4 uur na binnenkomst van een watermonster in het laboratorium bekend of het genetisch materiaal van enterococcen aan- of afwezig is (9).

Blootstellingsroute

Normaal gesproken worden mensen niet aan enterococcen blootgesteld.

Gezondheidskundige betekenis

De gezondheidskundige betekenis van de enterococcen bestaat uit het gebruik van deze bacteriëngroep als indicatororganisme voor een fecale verontreiniging van het drinkwater. Vrijwel alle acute ziekten die worden veroorzaakt door drinkwater zijn terug te voeren op ziekteverwekkende micro-organismen (bacteriën, virussen en parasitaire protozoa) die aanwezig zijn in de feces van mensen of warmbloedige dieren. De aanwezigheid van enterococcen is een indicatie dat het drinkwater met fecaliën besmet is met daarin mogelijk ziekteverwekkende micro-organismen of virussen.

Het gebruik van indicatorbacteriën om ziekteverwekkers op te sporen, heeft al meer dan honderd jaar zijn nut bewezen. In de afgelopen 30 jaar is echter gebleken dat deze benadering niet helemaal 'waterdicht' is. Het is namelijk niet zeker of virussen en ziekteverwekkende parasitaire protozoa altijd afwezig zijn als het water geen indicatorbacteriën bevat. Met name de protozoa *Cryptosporidium* en *Giardia* overleven veel langer in het milieu dan de bacteriën en zijn ook vele malen resistenter tegen bijvoorbeeld chloor. De veiligheid voor die organismen wordt voor reinwater aangetoond door middel van een AMVD (Analyse Microbiologische Veiligheid Drinkwater).

Normen en richtlijnen verklaard

Indien enterococci in drinkwater worden aangetroffen, bestaat er een gerede kans dat er echte ziekteverwekkende organismen aanwezig zijn. Het aantal kve moet dus altijd 0 zijn.

Aanwezigheid in drinkwater(bronnen) en monitoring

Enterococci dienen volgens de Drinkwaterregeling aan het tappunt en in het ruwe water te worden gemeten, bij gebruik van oppervlaktewater. De resultaten van metingen aan het tappunt worden jaarlijks gerapporteerd door de Inspectie Leefomgeving en Transport (ILT). Oppervlaktewatermetingen worden jaarlijks gerapporteerd door onder andere RIWA-Rijn. De concentratie aan enterococci wordt uitgedrukt in 'kve', kolonievormende eenheden.

Tussen 2015 en 2020 zijn enterococci aan het tappunt in geen van de gerapporteerde locaties aangetroffen. Het gerapporteerde maximum is voor alle locaties 0.

Tussen 2015 en 2020 worden enterococci in ruwwater bij het gebruik van oppervlaktewater in alle behalve één van de gerapporteerde winpunten aangetroffen. De mediaanconcentratie is 3,8 kve/100 ml en het gemeten maximum over de jaren ligt tussen de 350 en 1.300 kve/100 ml.

Zuivering

Alle gebruikelijke desinfectiemethoden (UV- en ozondesinfectie, en natriumhypochloriet-oplossing) zijn effectief voor de verwijdering of afdoding van enterococci.

Referenties

[1] <https://nl.wikipedia.org/wiki/Enterococcus>.

[2] World Health Organization (2022): Guidelines for drinking-water quality; Fourth edition incorporating the first and second addenda. WHO, Genève.

[3] Meerkerk, M.A. (red.) (2020): Hygiëncode drinkwater. Deel 1: Algemeen. KWR | PCD 1-1. KWR Water Research Institute, Nieuwegein.

[4] Muruleedhara, N.B., Nevers, M.B., Korajkic, A., Staley, Z.R., Harwood, V.J. (2012): Enterococci in the Environment, Microbiol. Mol. Biol. Rev. 75, 685 – 706 (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3510518/>).

[5] Geldreich, E.E., Kenner, B.A. (1969): Concepts of Fecal Streptococci in Stream Pollution. Journal WPCF 41, no. 8, part 2, p. R336-R352.

[6] Hijnen, W.A.M., Lugtenberg, A.T., Ruiters, H., Vink, R.R.J., Medema, G.J. (2007): Decay Rate Index for *E. coli* and enterococci in fresh and salt bathing waters. AWWA, WQTC Conference 2007.

[7] Dufour, A., Snozzi, M., Koster, W., Bartram, J., Ronchi, E., Fewtrell L. (2003): Assessing microbial safety of drinking water: Improving approaches and methods. IWA, London.

[8] Vissers, L., Taucer-Kapteijn, M. (2019): Bevestiging van bacteriekolonies geïsoleerd uit drinkwater met behulp van MALDI-TOF; validatie volgens ISO 16140-6. Validatierapport MI.M2019.015/LV. Aqualab Zuid, Werkendam.

[9] Heijnen, L., Timmers, P., Elsinga, G. (2019): 'Ontwikkeling van een RT-PCR voor snelle detectie van enterococci', rapport BTO 2019.209(s). KWR Water Research Institute, Nieuwegein.

[10] Heijnen, L. (2020): Ontwikkelen van een enterokokken RT-PCR methode als snel alternatief voor de NEN-EN-ISO 7892-2:2000, notitie aan expertgroep RT-PCR en themagroep Biologische Veiligheid. KWR Water Research Institute, Nieuwegein.

Virussen

Grondslag norm: gezondheidskundig

Drinkwaterbesluit 2011: voorlopige grenswaarde bij gebruik van oppervlaktewater: één infectie per 10.000 personen per jaar, te bepalen door het opstellen van een risicoanalyse en het daaruit berekende theoretische infectierisico (dit is beschreven in het richtsnoer AMVD (Analyse Microbiologische Veiligheid Drinkwater [29]))

WHO 2022: geen richtwaarde

Europese Drinkwaterrichtlijn 2020: somatische colifagen in het ruwe water referentiewaarde 50 pve/100 ml (plaquevormende eenheden)

Herkomst

Een virus is een klein stukje organisch materiaal dat zich uitsluitend kan vermenigvuldigen in cellen van levende wezens. Virussen hebben een relatief eenvoudige structuur. Een individueel virusdeeltje bevat aan de binnenzijde het genetisch materiaal dat uit DNA of RNA bestaat. Dit materiaal wordt beschermd door een eiwitmantel, de capside. In sommige gevallen wordt dit geheel omhuld met een vetmantel (envelop) (1). De wateroverdraagbare virussen zijn over het algemeen klein (30 nm, uitzonderingen daargelaten) hebben geen envelop om hun capside en zijn goed bestand tegen variaties in de watertemperatuur en zuurgraad (2, 28).

Virussen die via water kunnen worden overgedragen, behoren veelal tot de enterale virussen (= darmvirussen), die worden uitgescheiden in de menselijke ontlasting. Het betreft een grote diverse groep van veel verschillende soorten virussen. In het Drinkwaterbesluit is sprake van de wat onduidelijke term '(entero)virussen'. Het doel van de haakjes om 'entero' in '(entero)virussen' is om aan te geven dat mogelijk andere virusgroepen die kritisch zijn voor de drinkwatervoorziening ook onder het Drinkwaterbesluit vallen (29). In principe moeten enterovirussen worden gemeten, al is in de verdere uitwerking van het Drinkwaterbesluit opgenomen dat in individuele gevallen een uitzondering kan worden gemaakt, bijvoorbeeld door adenovirussen te meten bij UV-desinfectie in plaats van enterovirus (29).

In Tabel 1 is aangegeven welke pathogene virussen relevant zijn voor drinkwater.

Tabel 1 Informatie over pathogene virussen die relevant zijn voor drinkwater (daarbij is ook aangegeven wat de mogelijke gezondheidskundige gevolgen kunnen zijn van infectie met een van deze virussen).

Familie	Geslacht	Virussen, o.a.	Mogelijke gezondheidskundige gevolgen ²	Meer informatie
Picornaviridae	Enterovirus	Poliovirus	Hersenvliesontsteking, kinderverlamming	4, 28
		Coxsackievirus, Echovirus	Hartspierontsteking, hersenvliesontsteking	4, 28
		Parechovirus	Gastro-enteritis ¹ , hersenvliesontsteking, bloedvergiftiging	4, 11, 25, 28
		(humaan) enterovirus	Gastro-enteritis ¹ , hersenvliesontsteking	2, 4, 6, 28
	Hepatovirus	Hepatitis A virus	Geelzucht	28
Reoviridae	Reovirus	Reovirus	Hersenvliesontsteking	28
	Sedoreovirinae	Rotavirus	Gastro-enteritis ¹	2, 4, 28
Caliciviridae	Sapovirus	Sapporo virus	Gastro-enteritis ¹	28

	<i>Norovirus</i>	<i>Norovirus genotype I en II</i>	<i>Gastro-enteritis¹</i>	2, 6, 14, 28
<i>Adenoviridae</i>	<i>Mastadenovirus</i>	<i>Humaan adenovirus-40/41</i>	<i>Gastro-enteritis¹, oog- of keelontsteking, pneumonie</i>	4, 7, 28
<i>Hepeviridae</i>	<i>Orthohepevirus</i>	<i>Hepatitis E virus</i>	<i>Geelzucht</i>	28

¹ Gastro-enteritis: onder andere diarree, braken en koorts.

² In deze tabel worden de mogelijke gezondheidkundige gevolgen beschreven. Klachten kunnen echter variëren van zeer mild tot zeer ernstig. De ernstigere klachten zoals hersenvliesontsteking, kinderverlamming en bloedvergiftiging komen slechts zeer zelden voor. Het zijn echter wel mogelijke ziektebeelden.

Water kan besmet raken met pathogene virussen doordat ontlasting van geïnfecteerde individuen (al dan niet met ziekteverschijnselen) daarin terecht komt. Dat kan via verschillende routes. Zo kunnen lozingen van rioolwaterzuiveringsinstallaties leiden tot verhoogde virusbelasting van oppervlaktewater, omdat de rioolwaterzuiveringen niet zijn ingericht voor virusverwijdering. De zuiveringsefficiëntie van rioolwaterzuiveringsprocessen is voor virussen niet hoog en varieert van een verwijdering tot een 10 – 100 keer lagere virusconcentratie (4). Ook lozingen van ongezuiverd afvalwater (bijvoorbeeld door riooloverstorten en buitenlandse (ongezuiverde) rioolwaterlozingen) kunnen bijdragen aan de virusbelasting van het oppervlaktewater. De jaarlijkse vracht aan enterovirussen die in 1997 – 1998 via de Rijn en Maas Nederland bereikte bedroeg $5,8 - 7,6 \cdot 10^{12}$ enterovirussen en $0,12 - 1,1 \cdot 10^{14}$ reovirussen (5). Jaarlijks lozen rioolwaterzuiveringsinstallaties in Nederland ongeveer 1.900 miljoen m³ gezuiverd effluent op het oppervlaktewater en nog eens ongeveer 20 miljoen m³ ongezuiverd rioolwater vanuit overstorten en foute aansluitingen (6). De concentraties rotavirus in ongezuiverd rioolwater variëren van 50 tot 5.000 virusdeeltjes per liter en voor enterovirussen van 1 tot 1.000 per liter (2). Andere bronnen voor virusbesmettingen zijn lozingen van ongezuiverd rioolwater door de beroepsvaart, de pleziervaart en woonboten. Directe fecale besmettingen kunnen ook optreden door ‘accidental fecal releases’ van geïnfecteerde waterrecreanten en watersporters (6, 7). Dat zulke voorvallen van belang zijn voor de gezondheidsrisico's blijkt uit het gegeven dat het aantal uitgescheiden virusdeeltjes per gram feces enorm kan zijn. Per gram feces kunnen 10^9 rotavirussen en 10^6 enterovirussen worden uitgescheiden (2, 6). Dat van sommige virussoorten slechts enkele virusdeeltjes al een infectie kunnen veroorzaken (6), benadrukt het belang van zulke voorvallen.

Een andere besmettingsbron van oppervlaktewater is afspoeling van mest (5). De meeste enterale virussen die mensen kunnen infecteren, worden echter niet door dieren uitgescheiden omdat veel virussen een soort-specifieke gastheer nodig hebben om zich in te kunnen vermenigvuldigen (2). Er zijn echter enkele uitzonderingen. Norovirusstammen die gevonden zijn bij varkens lijken meer op norovirusstammen gevonden bij mensen dan bij runderen. Ook hepatitis E-virus (HEV) stammen uit varkens bleken nauw verwant te zijn aan HEV van geïnfecteerde personen. Daarnaast kan HEV ook voorkomen in wilde zwijnen en herten. (6, 7). Avian influenzavirussen (AIV) uit kippenmest en uitwerpselen van watervogels kunnen ook in het oppervlaktewater terechtkomen en zo voor verontreiniging van het water zorgen (6).

Blootstellingsroutes

Via recreatie en met name door te zwemmen in oppervlaktewater of het spelen op waterspeelplaatsen kunnen mensen worden blootgesteld aan water dat is verontreinigd met enterale virussen (6 – 11). In zwembaden met chloor-gedesinfecteerd zwemwater zal de blootstelling klein zijn, tenzij er ‘accidental fecal releases’ plaatsvinden en/of de chloordesinfectie niet goed functioneert.

De blootstelling aan virussen via drinkwater is te verwaarlozen, ervan uitgaande dat het infectierisico minder is dan 1 infectie per 10.000 inwoners per jaar. Virussen kunnen in drinkwater terechtkomen als de zuivering niet voldoet door bijvoorbeeld een gecompromitteerde integriteit van membraanzuivering, piekbelasting van de zuivering of een kwetsbare grondwaterwinning. Al worden dit soort scenario's meegenomen in de risicoschattingen die door drinkwaterbedrijven

worden uitgevoerd, is de kans op infectie door drinkwater zeer klein (1 infectie per 10.000 inwoners pers jaar). Andere mogelijkheden voor introductie van virussen in drinkwater zijn bijvoorbeeld drukverlies in het leidingnet waarbij grondwater of oppervlaktewater in een drinkwaterleiding terecht kan komen. Ook dit komt zeer weinig voor.

Water kan een rol spelen in de verspreiding van niet-watergerelateerde virussen. Zo bestaat de (theoretische) mogelijkheid dat luchtwegvirussen via de ontlasting in het water terechtkomen en dan via waterdruppels of aerosolen van bijvoorbeeld buitendouches mensen besmetten. Een andere mogelijkheid is dat virussen worden uitgescheiden in de urine (zoals de polyomavirussen), het water verontreinigen en dan mensen blootstellen met mogelijke lange-termijn gezondheidseffecten als gevolg (2).

Gezondheidskundige betekenis

Virussen kunnen in lage concentraties nog infectieus zijn. Zo is de infectieuze dosis (het aantal virusdeeltjes dat nodig is om een infectie te veroorzaken) van noro- en rotavirussen slechts 1 – 10 virusdeeltjes, maar is dat voor andere virussoorten hoger (6, 30). Belangrijk hierbij is dat een infectie niet tot ziekteverschijnselen hoeft te leiden; de infectie kan ook asymptomatisch verlopen. De meeste van de virussen die via water kunnen worden overgedragen, kunnen bij de mens gastro-enteritis veroorzaken met diarree, braken en koorts tot gevolg. In Tabel 1 is per virus aangegeven welke ziekteverschijnselen deze kunnen veroorzaken. Wereldwijd gezien zijn rotavirussen de belangrijkste oorzaak van virale gastro-enteritis: 50 – 60% van de gastro-enteritis gevallen van in ziekenhuizen opgenomen kinderen in de wereld wordt veroorzaakt door rotavirussen (2). De ziektelast van een rotavirus-infectie kan extreem hoog zijn en het is de belangrijkste een-op-een oorzaak van kindersterfte in de wereld (2). Andere wateroverdraagbare virussen veroorzaken nog ernstigere klachten zoals kinderverlamming als gevolg van een infectie met het poliovirus, geelzucht, hersenvliesontsteking, oog- of keelontsteking of een ziektebeeld van bloedvergiftiging (Tabel 1).

Normen en richtlijnen verklaard

In het Drinkwaterbesluit is opgenomen dat micro-organismen niet in een zodanige concentratie in het drinkwater mogen voorkomen dat er nadelige gevolgen voor de volksgezondheid kunnen ontstaan. Voor bepaalde micro-organismen waaronder virussen en protozoa, is het niet mogelijk om concentraties te meten op het lage niveau waarop blootstelling relevant is voor de gezondheid van de gebruiker. In plaats daarvan dient een kwantitatieve risicoanalyse (AMVD, Analyse Microbiologische Veiligheid Drinkwater) te worden opgesteld op basis van metingen in het ruwwater en gegevens over de verwijderingscapaciteit van de zuivering. Dit is beschreven in het Richtsnoer AMVD (29). Hieruit kan een theoretisch infectierisico worden berekend, waarvoor een voorlopige grenswaarde geldt van maximaal 1 infectie per 10.000 personen per jaar. Omdat niet alle pathogenen kunnen worden gemeten, dient de risicoanalyse te worden uitgevoerd voor de zogenaamde indexpathogenen. Als de zuivering in staat is de indexpathogenen voldoende te verwijderen, voldoet het drinkwater aan de grenswaarde. Voor virussen zijn de enterovirussen het indexpathogeen. Het is echter gebleken dat adenovirussen in veel grotere dichtheden kunnen voorkomen in oppervlaktewater dan andere enterale virussen (12) en bovendien zijn die minder gevoelig voor desinfectie met UV en chloor dan enterovirussen (13). Daardoor kan ook voor adenovirussen een AMVD worden gevraagd door ILT. Dit is vooral van toepassing als adenovirussen in hoge aantallen voorkomen in de bron en/of als de verwijderingscapaciteit van de zuivering voor een groot deel wordt bepaald door desinfectie met UV en/of chloordioxide (20, 29).

Volgens de Europese Drinkwaterrichtlijn moet een risicobeoordeling van het watervoorzieningssysteem vanaf het onttrekkingsgebied, over de behandeling en de opslag tot en met de distributie worden opgesteld, dat de basis vormt van het monitoringsprogramma. Dit bevat ook de monitoring van de parameter 'somatische colifagen'⁵. Deze parameter moet worden gemeten als de risicobeoordeling

⁵ **Somatische colifagen** zijn virussen die *E. coli* bacteriën als gastheer gebruiken. 'Somatisch' betekent letterlijk 'lichamelijk' en slaat op de hechtingsplaats van het bacterievirus (= bacteriofaag) op de bacteriecelwand. Somatische colifagen worden in vergelijking met andere bacteriofagen (F-specifieke fagen (MS2) en *Bacterioides*) in de hoogste dichtheden in Nederlandse oppervlaktewateren gevonden (2).

aangeeft dat dit passend is. Als deze parameter in onbehandeld water wordt aangetroffen in een concentratie > 50 pve/100 ml dan moet de verwijderingscapaciteit van de verschillende zuiveringsstappen voor somatische colifagen worden geanalyseerd om te beoordelen of het risico op doorbraak van pathogene virussen voldoende wordt beheerst.

De WHO heeft geconcludeerd dat er onvoldoende data zijn om richtlijnen af te leiden voor alle pathogene virussen en heeft daarom besloten om referentie pathogene virussen te benoemen waarvoor een kwantitatieve microbiologische risicoanalyse (AMVD of QMRA: Quantitative Microbial Risk Assessment) kan worden uitgevoerd. Dit betreft de rotavirussen, enterovirussen en de norovirussen (2).

Aanwezigheid in drinkwater(bronnen) en monitoring

Analysemethoden

Tot 2000 konden uitsluitend entero- en reovirussen worden aangetoond met celkweken van groot-volume-monsters (100 – 1.000 l), omdat bepaalde cellijnen (cellen van zoogdieren die kunnen worden gekweekt) gevoelig zijn voor deze virussen (3, 26). Sinds 2000 is er een moleculaire methode beschikbaar om virussen waarvoor geen gevoelige cellijnen beschikbaar waren (zoals rota- en norovirussen) aan te kunnen tonen (3, 27). Celkweekmethoden hebben de voorkeur bij het aantonen van wateroverdraagbare ziekteverwekkende virussen, omdat dit informatie oplevert over hoe infectieus de virussen zijn. Als virussen langer aanwezig zijn in het water of worden onderworpen aan zuiveringsprocessen zoals UV-desinfectie, blijft het RNA of DNA nog een tijd intact, terwijl hun vermogen om cellen te infecteren en zo een infectie en mogelijk gezondheidsklachten te veroorzaken, afneemt. Voor de niet-kweekbare virussen betekent dit dat een aanname of schatting moet worden gedaan over het aandeel infectieuze virussen van de met bijvoorbeeld qPCR (moleculaire methode waarmee DNA of RNA wordt gemeten) aangetoonde virusdeeltjes (6). Ook bestaan er gecombineerde celkweek-PCR-methoden, zoals die waarmee infectieuze rotavirussen (15) en adenovirussen werden aangetoond in Nederlands oppervlaktewater.

Concentratie in drinkwaterbronnen

Virusconcentraties in het oppervlaktewater zijn in het algemeen in de winter hoger dan in de zomer door een langzamere aantasting van de virussen bij lage temperaturen (16, 17, 18). In Tabel 2 is een aantal voorbeelden van virusconcentraties in oppervlaktewateren gegeven. Over het algemeen zijn de concentraties norovirus hoger dan de andere enterovirussen al wordt dit ook veroorzaakt door verschillen in de analysetechniek (qPCR: norovirus, kweek: enterovirus, reovirus).

Tabel 2 Voorbeeld van concentraties van verschillende virussen in oppervlaktewaterlocaties. De Nederlandse locaties worden gebruikt als ruwwater bron voor de bereiding van drinkwater.

Virus	Locatie	Periode	Concentratie (gemiddeld) ⁶	Referentie
Enterovirus	IJsselmeer, Haringvliet, Drentse Aa	1978 – 1996	< 1 pve/l	19
Enterovirus	grote rivier	1978 – 1996	0,4 – 3 pve/l	19
Norovirus	Maas	1999 – 2002	74 pdu/l	4
Enterovirus	Maas	1999 – 2002	2 pve/l	4
Reovirus	Maas	1999 – 2002	0,3 pve/l	4
Norovirus	Bergsche Maas	2002 – 2003 (winter)	200 pdu/l (max: 3.000 pdu/l)	18
Rotavirus	wereldwijd		0,01 – 100 pve/l	2
Enterovirus	wereldwijd		0,001 – 10 pve/l	2

Zuivering

Om de verwijdering van de verschillende zuiveringsstappen te bepalen, wordt vaak gebruik gemaakt van bacteriofagen, omdat deze vaak in grotere aantallen voorkomen dan virussen en enigszins vergelijkbare morfologische en fysisch-chemische eigenschappen hebben, bijvoorbeeld structuur, grootte en lading (28). Zo zijn somatische colifagen een goede indicator voor UV-desinfectie en F-specifieke fagen (MS2) een goede indicator voor chloordioxide-desinfectie van adenovirussen (20). Recent is vastgesteld dat virussen die in grote getalen van nature voorkomen in oppervlaktewater maar niet pathogeen zijn voor mensen (de ‘natuurlijke virussen’) kunnen dienen als indicator ten behoeve van de verwijderingscapaciteit van zuiveringsstappen voor pathogene virussen. Daarnaast kan met deze methode ook de integriteit van ultrafiltratie, omgekeerde osmose en oeverfiltratieprocessen nauwkeurig en routinematig worden bepaald en waar nodig worden bijgestuurd (21).

Virussen worden op verschillende manieren verwijderd tijdens de bereiding van drinkwater, al varieert de verwijdering per soort virus en per zuiveringsstap. Bodempassage, oeverfiltratie, onverzadigde zone en membraanfiltratie (omgekeerde osmose, nanofiltratie, ultrafiltratie) geven een hoge virusverwijdering (2, 22). Ook langzame-zandfiltratie kan een substantiële bijdrage leveren aan de virusverwijdering (13). Zuiveringsstappen die slechts tot weinig virusverwijdering leiden, zijn coagulatie/snefiltratie (6), evenals actieve-koolfiltratie (2, 23). Bij desinfectie met chloor, chloordioxide en ozon worden virussen afgedood (31). Adenovirussen zijn veel minder gevoelig voor UV-desinfectie dan andere enterale virussen (24). Passage van water door een spaarbekken geeft een variabele verwijdering (4, 16).

Referenties

- [1] [https://nl.wikipedia.org/wiki/Virus_\(biologie\)](https://nl.wikipedia.org/wiki/Virus_(biologie)).
- [2] World Health Organization (2022): Guidelines for drinking-water quality; Fourth edition incorporating the first and second addenda. WHO, Genève.
- [3] Rutjes, S.A., de Roda Husman, A.M. (2004): Procedure voor virusdetectie in water ten behoeve van het Nederlandse Waterleidingbesluit 2001. Rapport 330000007/2004. RIVM, Bilthoven.
- [4] de Roda Husman, A.M., Ketelaars, H.A.M., Lodder, W.J., Medema, G.J., Schets, F.M. (2006). De microbiologische kwaliteit van het ingenomen en afgeleverde water van Waterwinningbedrijf Brabantse Biesbosch in 2001. Rapport 330250002/2006. RIVM, Bilthoven.

⁶ pdu = PCR-detecteerbare units; pve = plaquevormende eenheden

- [5] Hoogenboezem, W., Ketelaars, H.A.M., Medema, G.J., Rijs, G.B.J., Schijven, J.F. (2001). *Cryptosporidium* en *Giardia*: voorkomen in rioolwater, mest en oppervlaktewater met zwem- en drinkwaterfunctie. RIWA, Amsterdam.
- [6] de Roda Husman, A.M., Lodder, W., van den Berg, H., Schijven, J., Rutjes, R., Schets, C. (2019): Ziekteverwekkende virussen in (drink)water? Tijdschr. Infect. 14, 223-227.
https://www.aries.nl/wp-content/uploads/2019/12/Tvl6_2019_Art_deRodaHusman.pdf
- [7] de Roda Husman, A.M. (2001): Humane virussen in H₂O. H₂O 8, 18-20.
<https://edepot.wur.nl/359660>
- [8] Limaheluw, J., de Roda Husman, A.M., Schets, F.M. (2020): Gezondheidsklachten door waterrecreatie in de zomers van 2017, 2018 en 2019. Infectieziekten Bulletin 31, 1.
- [9] Oorsprong, D.M., Schets, F.M. (2020): Inventarisatie van microbiologische risico's van speelwater met een checklist. Infectieziekten Bulletin 31, 3.
- [10] Lodder WJ, Schijven JF, Rutjes SA, et al. (2015): Enter- and parechovirus distributions in surface water and probabilities of exposure to these viruses during water recreation. Water Res. 75, 25-32.
- [11] van der Sanden, S., de Bruin, E., Vennema, H., Swanink, C., Koopmans, M., van der Avoort, H. (2008): Prevalence of human parechovirus in The Netherlands in 2000 to 2007. J. Clin. Microbiol. 46, 2884-2889.
- [12] Heijnen, L. (2011): Virusverwijdering door drinkwaterzuiveringsprocessen: de waarde van somatische fagen, F-specifieke fagen en adenovirussen. BTO 2011.010. KWR, Nieuwegein.
- [13] Hijnen, W.A.M., Beerendonk, E.F., Medema, G.J. (2006): Inactivation credit of UV radiation for viruses, bacteria and protozoan (oo)cysts in water treatment. Water Res. 44, 1224-1234.
- [14] Sips G.J., Dirven, M.J.G., Donkervoort, J.T., van Kolfshoten, F.M., Schapendonk, C.M.E., Phan M.V.T., Bloem, A., van Leeuwen, A.F., Trompenaars, M.C.E., Koopmans M.P.G., van der Eijk, A.A., de Graaf, M., Fanoy E.B. (2019): Een norovirusuitbraak in een natuurspeeltuin: een One-Health-benadering. Infectieziekten Bulletin 30, 4.
- [15] Rutjes SA, Lodder WJ, Van Leeuwen AD, et al. (2009). Detection of infectious rotavirus in naturally contaminated source waters for drinking water production. J. Appl. Microbiol. 107, 97-105.
- [16] van Olphen, M., van de Baan, E., Kapsenberg, J.G., van Breemen, L.W.C.A. (1992): Virusverwijdering bij opslag van Maaswater in spaarbekkens. H₂O 20, 550-555.
- [17] Italiaander, R. (2013): Virusverwijdering uit oppervlaktewater door coagulatie/sedimentatie en snelle zandfiltratie. BTO 2013.012. KWR, Nieuwegein.
- [18] Westrell, T., Teunis, P., van den Berg, H., Lodder, W., Ketelaars, H.A.M., Stenström, T.A., de Roda Husman, A.M. (2006). Short and long-term variations of norovirus concentrations in the Meuse river during a two-year study period. Wat Res. 40, 2613-2620.
- [19] Theunissen, J.J.H., Nobel, P.J., van der Heide, R., de Bruin, H.A.M., van Veenendaal, D., Lodder, J.F., Schijven, G.J., Medema, G.J., van der Kooij, D. (1998): Enterovirusconcentraties bij innamepunten van oppervlaktewater voor de bereiding van drinkwater. Rapport 289202013. RIVM, Bilthoven.

- [20] Schijven, J., Teunis, P., Suylen, T., Ketelaars, H., Hornstra, L. (2019): QMRA of adenovirus in drinking water at a drinking water treatment plant using UV and chlorine dioxide disinfection. *Water Res.* 158, 13-45.
- [21] Hornstra, L. (2020): Natuurlijke virussen voor de bewaking van zuiveringsprocessen. BTO 2020.009. KWR, Nieuwegein.
- [22] Hijnen, W.A.M., Cirkel, D.G., Brouwer-Hanzens, A.J., Cai, J.H., Oorthuizen, W.A. (2014): Verwijdering van *Escherichia coli* en MS2 bacteriofagen in de onverzadigde zone en de invloed van de dikte, regenintensiteit en opgeloste organische stof. BTO 2014.020. KWR, Nieuwegein.
- [23] Hijnen, W., Suylen, T., Bahlman, J., Medema, G. (2011). Actiefkoolfiltratie als barrière voor micro-organismen in drinkwaterbereiding. *H₂O* 29, 40-43.
- [24] Eischeid, A.C., Thurston, J.A., Linden, K.G. (2011). UV disinfection of adenovirus: present state of the research and future directions. *Crit. Rev. Environ. Sci. Tech.* 41, 1375-1396.
- [25] <https://werkboeken.nvk.nl/kinderinfectieziekten/Verwekkers/Entero-en-parechovirus>
- [26] Lodder, W.J., de Roda Husman, A.M. (2005). Presence of noroviruses and other enteric viruses in sewage and surface water in The Netherlands. *AEM*, 71, 3, 1453-1461.
- [27] Lodder, W.J., Vinje, J., van de Heide R., de Roda Husman, A., Koopmans, M., Leenen, E. (2000). Detectie van Norwalk-like calicivirussen en rotavirussen in rioolwater in relatie tot explosies van gastro-enteritis. RIVM-rapport 289202-025.
- [28] Meschke, J.S. and Girones, R. (eds), Part 3: Specific Excreted Pathogens: Environmental and Epidemiology Aspects – Section 1: Viruses. In: Rose, B. and Jiménez-Cisneros, B. (eds) (2021). *Water and Sanitation for the 21st Century: Health and Microbiological Aspects of Excreta and Wastewater Management (Global Water Pathogen Project)*. Michigan State University, E. Lansing, MI, UNESCO. <https://doi.org/10.14321/waterpathogens.11>
- [29] Inspectie Leefomgeving en Transport, (2020). Richtsnoer Analyse Microbiologische Veiligheid Drinkwater (AMVD)
- [30] Yezli, S., Otter, J.A. (2011). Minimum Infective Dose of the Major Human Respiratory and Enteric Viruses Transmitted Through Food and the Environment. *Food Environ. Virol.*, 3: 1 – 30. DOI 10.1007/s12560-011-9056-7
- [31] Moel, P.J. de, Verberk, J.Q.J.C., en Dijk, J.C. van (2012): 'Drinkwater – principes en praktijk', Water Management Academic Press, Delft Nederland

● Epichloorhydrine

Grondslag norm: gezondheidkundig

Drinkwaterbesluit 2011: maximum waarde 0,1 µg/l

Opmerking:

Deze parameterwaarde heeft betrekking op de residuele monomeerconcentratie in het water, berekend aan de hand van specificaties inzake de maximum migratie van de overeenkomstige polymeer in contact met water, of betreft een feitelijk gemeten waarde.

WHO 2022: voorlopige richtwaarde 0,4 µg/l

EU Drinkwaterrichtlijn 2020: parameterwaarde 0,1 µg/l

Opmerking:

De parameterwaarde van 0,10 µg/l heeft betrekking op de residuele monomeer-concentratie in het water, berekend aan de hand van specificaties inzake de maximumvrijkoming van de overeenkomstige polymeer in contact met water.

Herkomst

In het Drinkwaterbesluit is epichloorhydrine als norm opgenomen omdat deze stof kan vrijkomen bij het gebruik van kunststof materialen die in contact komen met voor de menselijke consumptie bestemd water. Het meten van de stof vormt een onderdeel van de kwaliteitsverklaring voor het gebruik van kunststoffen die in contact (kunnen) komen met drinkwater.

Epichloorhydrine wordt gebruikt voor de vervaardiging van veel andere organische stoffen zoals glycerol, niet-gemodificeerde epoxyharsen, coagulerende polymeren voor waterbehandeling, sommige ionenwisselingsharsen, kleurstoffen, farmaceutische producten, olie-emulgatoren, smeermiddelen en kleefstoffen [1]. De stof wordt in waterige media langzaam gehydrolyseerd [2]. Samen met de stof bisfenol A reageert epichloorhydrine tot diglycidylether, een van de grondstoffen voor een scala aan producten op basis van epoxy (zie factsheet 'Bisfenol A'), waaronder producten die bij de drinkwatervoorziening een rol spelen: met name buizen, fittingen en coatings. Een beperkte hoeveelheid epichloorhydrine, die niet heeft gereageerd met bisfenol A, komt voor in het gevormde diglycidylether en vervolgens in het epoxy eindproduct (residueel epichloorhydrine).

Epichloorhydrine verdampt gemakkelijk uit bodems en oppervlaktewateren nabij het oppervlak. De stof zal zich niet binden aan sedimenten in waterlichamen. Als de stof op het land wordt gemorst, kan die uitlogen in het grondwater, maar het wordt gemakkelijk afgebroken door een aantal chemische reacties. Epichloorhydrine zal zich niet ophopen in het waterleven [4].

Blootstellingsroutes

Er zijn in zeer beperkte mate kwantitatieve gegevens beschikbaar over het vóórkomen van epichloorhydrine in levensmiddelen of drinkwater [1].

Gezondheidkundige betekenissen

Epichloorhydrine polymeriseert bij verhitting of onder invloed van sterke zuren of basen. Bij verbranding komen giftige en corrosieve dampen vrij (met name waterstofchloride en chloor) [3]. Epichloorhydrine wordt snel en uitgebreid geabsorbeerd na orale-, inhalatie- of huidblootstelling. Het bindt zich gemakkelijk aan celorganellen (onderdelen). De belangrijkste toxische effecten zijn plaatselijke irritatie en schade aan het centrale zenuwstelsel, de nieren en de lever. Het induceert plaveiselcelcarcinomen in de neusholte bij inademing en voormaagtumoren bij orale blootstelling. Uit dierproeven is gebleken dat de stof genetische schade veroorzaakt en mogelijk schadelijk is voor de voortplanting of de ontwikkeling bij de mens. Epichloorhydrine is waarschijnlijk kankerverwekkend voor de mens (IARC-klasse 2A) [2, 3]. Dit is een Zeer Zorgwekkende Stof waarvan emissies en blootstellingen dus zoveel mogelijk dienen te worden beperkt [5].

Normen en richtlijnen verklaard

Op basis van de laagste concentratie waarbij een effect optrad (LOAEL) in een twee jaar durende studie bij ratten van 2 mg/kg lichaamsgewicht en een onzekerheidsfactor van 10.000 (10 voor het gebruik van een LOAEL in plaats van NOAEL, 100 voor verschillen tussen soorten en verschillen tussen individuele ratten en 10 voor de kankerverwekkendheid van de stof) is een TDI van 0,14 µg/kg lichaamsgewicht vastgesteld. De hieruit berekende richtwaarde voor drinkwater bedraagt 0,4 µg/l, gebaseerd op een allocatiefactor voor drinkwater van 10%. Deze richtwaarde wordt als voorlopig beschouwd vanwege de onzekerheden rond de toxiciteit van epichloorhydrine en het gebruik van een grote onzekerheidsfactor bij het afleiden van de richtwaarde [1].

Nederland en de EU hanteren al geruime tijd een iets strengere grenswaarde dan de WHO-richtwaarde (namelijk 0,1 µg/l).

Aanwezigheid in drinkwater(bronnen) en monitoring

Behalve een opmerking in het Drinkwaterbesluit en in de Europese Drinkwaterrichtlijn (zie boven) is er ook in de Drinkwaterregeling een opmerking bij c.q. ten behoeve van de parameter epichloorhydrine opgenomen: *'Acrylamide, epichloorhydrine en vinylchloride worden gecontroleerd door middel van productspecificatie (parameters opgenomen in de [Regeling materialen en chemicaliën drink- en warm tapwatervoorziening](#))'*. De stof wordt dus niet periodiek gemeten in (bronnen voor) drinkwater, maar is onderdeel van de (vertrouwelijke) productspecificatie in het kader van de erkende kwaliteitsverklaring volgens de genoemde ministeriële Regeling. Het gaat daarbij om berekeningen ten aanzien van de concentratie in (drink)water in een worstcasescenario op basis van het residueel gehalte epichloorhydrine in een van de grondstoffen als gevolg van migratie uit het materiaal (epoxy coating of onderdelen van een leiding). Een product is toelaatbaar als uit dergelijke berekeningen blijkt dat de maximum waarde van 0,1 µg/l volgens het Drinkwaterbesluit niet wordt overschreden. De ILT-rapportages van 2016 tot en met 2021 maken dan ook geen melding van deze parameter.

Ondanks het voorgaande zijn voor epichloorhydrine voor 2020 metingen beschikbaar, van twee drinkwaterbedrijven. Dit betreft metingen 'af pompstation' en in ruwwater, voor zowel grondwater (154 meetlocaties) als oppervlaktewater (9 meetlocaties). In alle metingen is de concentratie lager dan de rapportagegrens van 0,5 µg/l.

Zuivering

Deze paragraaf is niet relevant omdat het een productspecificatie van leidingmateriaal betreft en niet een te verwijderen stof.

Referenties

- [1] WHO. (2004). Epichlorohydrin in Drinking-water; Background document for development of WHO *Guidelines for Drinking-water Quality*. [Microsoft Word - Epichlorohydrin.doc \(who.int\)](#)
- [2] WHO. (2022). Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first and second addenda.: WHO, Geneva. [9789240045064-eng \(2\).pdf](#)
- [3] <https://nl.wikipedia.org/wiki/Epichloorhydrine>.
- [4] Archived Consumer Factsheet on Epichlorohydrin | US EPA ARCHIVE DOCUMENT, <https://archive.epa.gov/water/archive/web/pdf/archived-consumer-fact-sheet-on-epichlorohydrin.pdf>
- [5] [epichloorhydrine | Risico's van stoffen \(rivm.nl\)](#)

● Escherichia coli (E. coli)

Grondslag norm: gezondheidkundig

Drinkwaterbesluit 2011: maximum waarde 0 kvd per 100 ml

WHO: richtwaarde 0 kvd per 100 ml

EG-Drinkwaterrichtlijn 1998: parameterwaarde 0 kvd per 100 ml

Introductie

Bij de waterkwaliteitsbeoordeling van drinkwater wordt bij een positieve uitkomst van de test op de aanwezigheid van de darmbacterie *E. coli* geconcludeerd dat het drinkwater recentelijk verontreinigd is geraakt met feces van dierlijke of menselijke herkomst [4]. In dat geval bevat het water daardoor mogelijk ziekmakende (pathogene) bacteriën, virussen of protozoa [1]. De concentratie aan *E. coli* wordt uitgedrukt in 'kve' of 'kvd', kolonievormende eenheden respectievelijk deeltjes.

Bacteriën van de coligroep (ook wel coliformen genoemd) zijn een groep bacteriën met een aantal gemeenschappelijk kenmerken zoals een Gram-negatieve celwand, ontbreken van het enzym oxidase, in staat om te groeien in aanwezigheid van galzouten en lactose kunnen vergisten. De groep is erg heterogeen en bevat bacteriën die specifiek van fecale oorsprong zijn zoals *E. coli*, bacteriën die zowel in feces als in het milieu (plantenresten, bodem, nutriëntrijk (drink)water) kunnen voorkomen en bacteriën die niet in feces voorkomen, maar zich wel kunnen vermeerderen in drinkwater. Het aantreffen van bacteriën van de coligroep terwijl er geen *E. coli* wordt aangetroffen, duidt in veel gevallen niet op een fecale verontreiniging.

Herkomst

Het oppervlaktewater wordt continu belast met pathogene organismen uit gezuiverd rioolwater en dierlijke feces. Huishoudelijk afvalwater bij RWZI's bevat 1 tot 10 miljoen *E. coli* per 100 ml. Een normale RWZI verlaagt het aantal bacteriën met een factor 10 tot 100, voordat het wordt geloosd op het oppervlaktewater. Daarnaast vindt extra verontreiniging van het oppervlaktewater plaats als bij hevige regenval overstorten in werking treden en ongezuiverd rioolwater wordt geloosd en/of door uitspoeling van mest [2]. Die bacteriën komen niet voor in grondwater.

Blootstellingsroutes

In drinkwater komt *E. coli* normaliter niet voor. Verontreiniging van het drinkwater is bijna altijd het gevolg van werkzaamheden aan het leidingnet (niet-hygiënisch werken) of een leidingbreuk.

Mensen kunnen een besmetting door ziekteverwekkers uit feces op verschillende manieren oplopen, bijvoorbeeld door het eten van voedsel dat niet hygiënisch is behandeld of via zwemwater. Als het gemeten aantal boven de grenswaarde volgens de [Europese Zwemwaterrichtlijn](#) [3] ligt, wordt gedurende drie dagen een negatief zwemadvies gegeven.

Gezondheidkundige betekenis

Vrijwel alle acute ziekten die worden veroorzaakt door drinkwater zijn terug te voeren op ziekteverwekkende micro-organismen (bacteriën, virussen en parasieten), die aanwezig zijn in de feces en eventueel urine van de mens en warmbloedige dieren als gevolg van een urineweginfectie of blaasontsteking (zie ook *Legionella*). In 1886 beschreef de Duitse microbioloog Theodor Escherich dat de feces van de mens altijd hoge aantallen van een bepaalde bacterie ('bacterium coli commune') bevatten. In 1919 werd deze bacterie naar hem vernoemd: *Escherichia coli* (*E. coli*). Deze ontdekking heeft in het begin van de vorige eeuw geleid tot het gebruik van indicatorbacteriën bij onderzoek naar de microbiologische kwaliteit van drinkwater. *E. coli* en *enterococci* worden door de drinkwaterbedrijven gebruikt als indicatorbacteriën. Dat betekent dat hun aanwezigheid een indicatie is van een recente fecale verontreiniging met daarin mogelijk ziekteverwekkende micro-

organismen. Het drinkwater is ongeschikt voor consumptie als daarin bacteriën van fecale herkomst worden aangetroffen. Omdat *bacteriën van de coligroep* niet specifiek op een fecale verontreiniging duiden, betekent het aantreffen van uitsluitend deze bacteriën niet dat er een acuut gezondheidsrisico is. Er is wel sprake van een ongewenste situatie.

Het gebruik van indicatorbacteriën om ziekteverwekkende micro-organismen op te sporen, heeft al bijna honderd jaar zijn nut bewezen. Sinds de jaren 80 is echter gebleken dat deze benadering niet helemaal 'waterdicht' is. Het is namelijk niet zeker of virussen en bepaalde ziekteverwekkende protozoa (parasieten) altijd afwezig zijn als het water geen indicatorbacteriën bevat (zie ook *Cryptosporidium* en *Giardia*).

Sommige specifieke stammen van *E. coli* kunnen schadelijke gevolgen hebben. In de meeste gevallen gaat het om maagdarmproblemen. Ernstige besmettingen kunnen vermindering van de nierfunctie en bloedaafbraak tot gevolg hebben. De gezondheidsrisico's liggen vooral bij andere ziekmakende organismen uit fecale ontlasting zoals bepaalde bacteriën, virussen en protozoa [1], die bij een verontreiniging met feces in het water komen. Mogelijke klachten na een besmetting met fecale pathogenen zijn: maagdarmklachten, diarree en leverontsteking [2].

Normen en richtlijnen verklaard

De WHO stelt dat drinkwater uitsluitend veilig is als er geen ziekteverwekkende micro-organismen in aanwezig zijn. Het drinkwater is ongeschikt voor consumptie als daarin bacteriën van fecale herkomst worden aangetroffen [1].

Pathogenen zoals *Campylobacter* waarvoor *E. coli* en *enterococci* een indicatie zijn, gedragen zich helaas niet altijd hetzelfde als hun indicatoren. Zo zijn sommige pathogenen van fecale herkomst resistent tegen desinfectie. Daarom is het gebruik van *E. coli* en *enterococci* als indicatoren voor fecale belasting niet waterdicht en kunnen in bepaalde omstandigheden fecale pathogenen toch voorkomen, ondanks het feit dat beide indicatoren daar geen aanwijzing voor geven. Daarom zijn drinkwaterbedrijven verplicht een AMVD uit te voeren, waarbij aantoonbaar moet worden gemaakt dat het infectierisico kleiner dan 1:10.000 moet zijn: 'Voor het door middel van deze risicoanalyse berekende theoretische infectierisico geldt een voorlopige grenswaarde van één infectie per 10 000 personen per jaar. De toetsing aan deze (voorlopige) grenswaarde voor het infectierisico dient in elk geval te worden uitgevoerd voor Enterovirussen, *Cryptosporidium* en *Giardia*, maar geldt in principe ook voor andere pathogene micro-organismen.' (zie [5]).

Aanwezigheid in drinkwater(bronnen) en monitoring

De [Drinkwaterregeling](#) stelt aan oppervlaktewater dat is bestemd voor de bereiding van drinkwater een kwaliteitseis van 2.000 kvd/100 ml aan *E. coli*. Dezelfde eis (maar dan als 'milieukwaliteitseis') komt voor in het [Protocol monitoring & toetsing drinkwaterbronnen KRW](#).

In oppervlaktewater kunnen de aantallen van *E. coli* flink fluctueren. Zo werd in de Rijn bij Lobith tot 5.170 kvd/100 ml (maximale waarde) aan *E. coli* (bevestigd) gerapporteerd in het jaarrapport 2019, maar lagen deze waarnemingen bij Andijk, Nieuwersluis en Nieuwegein lager (maximaal 1.200 kvd/100 ml).

Grondwater bevat dit organisme niet.

Als bewaking van de kwaliteit moet *E. coli* direct na de bereiding van drinkwater worden gemeten. Dit moet voor drinkwater uit grondwater 52 keer en voor drinkwater bereid uit oppervlaktewater 365 keer per jaar plaatsvinden. Daarnaast moet *E. coli* volgens de [Drinkwaterregeling](#) aan het tappunt jaarlijks 26 keer per 2.000 m³ worden bepaald.

Normaal gesproken komt *E. coli* niet in het leidingnet voor. Als dat wel het geval is, kan dit worden veroorzaakt door een verontreiniging van buitenaf (bijvoorbeeld een leidingbreuk of een verkeerd gebruik van brandkranen). *E. coli* overleeft slecht buiten het lichaam en overleeft dus ook slecht in het leidingnet [1]. Als *E. coli* wordt aangetroffen in waterige omgevingen is dat daarom een bewijs van een recente verontreiniging met feces [1].

Verontreiniging van het gedistribueerde drinkwater kan plaatsvinden bij niet-hygiënisch werken aan het leidingnet. Om dit zo veel mogelijk te voorkomen, maken de drinkwaterbedrijven gebruik van sectorbrede protocollen voor hygiënisch werken met inbegrip van de opleiding van monteurs en procedures voor waterkwaliteitsbeoordeling. Een en ander is vastgelegd in de wet- en regelgeving [4].

Een positief *E. coli*-monster in het leidingnet wordt door de drinkwaterbedrijven altijd beschouwd als een bedreiging voor de volksgezondheid en neemt daarom na constatering of vermoeden van een verontreiniging altijd direct maatregelen [4]. Leidingen met verontreinigd drinkwater kunnen worden gespuid (met hoge snelheid doorspoelen) of er wordt tijdelijk een desinfectiemiddel (chloor) aan het water toegevoegd. Om de gezondheid van de consument te beschermen, kan worden geadviseerd om het water vóór consumptie te koken (een zogenaamd kookadvies). Consumenten worden geïnformeerd over een verontreiniging via diverse communicatiemiddelen. Wanneer uitstuitend *bacteriën van de coligroep* worden aangetroffen, is er geen sprake van een fecale verontreiniging en dus ook niet van een gezondheidsrisico. Een kookadvies is dan niet nodig.

Ten slotte wordt erop gewezen dat er in Nederland altijd sprake is van overdruk in het leidingnet. Een leidingbreuk moet relatief groot zijn om het daarin aanwezige drinkwater te kunnen verontreinigen.

Zuivering

Drinkwaterbedrijven die oppervlaktewater als grondstof gebruiken, zorgen ervoor dat verschillende processtappen van de zuivering bijdragen aan de desinfectie van het water, waarbij pathogene micro-organismen worden verwijderd of geïnactiveerd. Van elke processtap (bijvoorbeeld [langzame-zandfiltratie](#), [membraanfiltratie](#), [ozonisatie](#) of [UV-desinfectie](#)) is bekend welk percentage van de micro-organismen van fecale herkomst wordt verwijderd en in combinatie met de concentraties in het influent wordt aan de hand hiervan berekend of aan de eisen van het infectierisico wordt voldaan. Over het algemeen wordt bijna 100% van de aanwezige fecale micro-organismen verwijderd.

Referenties

[1] World Health Organization (2017): 'Guidelines for drinking-water quality; Fourth edition incorporating the first addendum', ISBN 978-92-4-154995-0, Geneva.

<https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/254637/9789241549950-eng.pdf;jsessionid=2664217407E6F72C0DD4BA2B94E7D61B?sequence=1>

[2] Schets, F.M., Berg, H.H.J.L. van den, Lodder, W.J., Docters van Leeuwen, A.E., en Roda Husman, A.M. (2006): 'Pathogene micro-organismen in zwemwater in relatie tot indicatoren voor fecale verontreiniging', RIVM rapport 330400001/2006, RIVM, Bilthoven.

<https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/330400001.pdf>

[3] Europese Unie (2006): 'Richtlijn 2006/7/EG van het Europees Parlement en de Raad van 15 februari 2006 betreffende het beheer van de zwemwaterkwaliteit en tot intrekking van Richtlijn 76/160/EEG', Straatburg.

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/NL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32006L0007&from=NL>

[4] Meerkerk, M.A. (2020): 'Hygiëncode Drinkwater; Opslag, transport en distributie', praktijkcode PCD 1-4:2019, KWR Water Research Institute, Nieuwegein.

<https://library.kwrwater.nl/publication/60640664/>

● Fluoride

Grondslag norm: gezondheidkundig

Drinkwaterbesluit 2011: maximum waarde 1,0 mg/l

WHO 2017: richtwaarde 1,5 mg/l

EU Drinkwaterrichtlijn 2020: parameterwaarde 1,5 mg/l

Herkomst

Fluoriden zijn verbindingen van het element fluor met één ander element, meestal ionen zoals natrium en calcium. Omdat elementair fluor zeer gemakkelijk reageert met andere stoffen, komt het niet vrij in de natuur voor, maar vormt het fluoridezouten met een metaal of een polaire verbinding met niet-metalen zoals koolstof. De hoge elektronegativiteit van fluor is de belangrijkste oorzaak voor de stabiliteit van dergelijke polaire fluorverbindingen: zo is de binding met koolstof of silicium bijzonder stabiel. Dit kan technisch een voordeel zijn, maar ook een biologisch nadeel als het als giftige stof in het milieu niet afbreekt, zoals perfluoralkylstoffen (PFAS) [1].

Fluor is een algemeen element dat overal ter wereld in de aardkorst in verschillende soorten mineralen voorkomt. In veel delen in de wereld worden hoge concentraties fluoride gevonden in grondwater, met name in delen van India, China, Centraal-Afrika en Zuid-Amerika. De concentraties kunnen hier oplopen tot meer dan 10 mg/l [2].

In Nederland zijn de emissies van fluoriden naar de lucht en het oppervlaktewater voor respectievelijk 85% en ruim 90% afkomstig van de industrie. Binnen de doelgroep industrie zijn met name de primaire aluminiumproducenten en de keramische industrie verantwoordelijk voor de fluoridenemissies naar de lucht. Daarnaast leveren kolengestookte elektriciteitscentrales een substantiële bijdrage (16%) aan de emissies naar de lucht. Sinds 1985 zijn door diverse maatregelen de emissies naar de lucht afgenomen van circa 1.700 ton naar ruim 800 ton in 2008, een afname van ruim 50%. De emissies naar het oppervlaktewater zijn gedaald van circa 43.000 ton in 1985 naar ongeveer 1.600 ton in 2008, een afname van meer dan 95%. De grootste afname is bereikt in de jaren negentig [3]. Lozingen van de Waalse fosfaatproducent Société de Prayon bepalen voor een groot gedeelte de concentratie fluoride in het water van de Maas [4], soms tot boven de maximum waarde voor drinkwater [5].

Blootstellingsroutes

Fluoride is aanwezig in lucht, water en voedsel. Vrijwel alle levensmiddelen bevatten ten minste sporen van fluoride. Zo bevatten alle groenten fluoride via opname uit de bodem en water [2], maar de gehalten zijn laag (0,1 tot 0,4 mg/kg). Dit geldt ook voor moedermelk en koemelk [6]. Over het algemeen is het gehalte fluoride in vlees en vis iets hoger (0,2 tot 5 mg/kg), maar de bijdrage aan de totale blootstelling blijft laag [6]. Thee daarentegen kan zeer hoge gehalten fluoride bevatten met een gemiddeld gehalte in droge thee van 100 mg/kg [2] en maximaal 400 mg/kg [6]. De dagelijkse inname aan fluoride via thee varieert van 0,02 tot 2,5 mg per dag. In Tibet is een nog veel hogere blootstelling vastgesteld (14 mg per dag) als gevolg van het drinken van thee van theeblokken (samengeperste thee) [6]. De totale dagelijkse inname varieert wereldwijd van 0,6 mg per volwassene per dag in een gebied waar het drinkwater niet is gefluorideerd tot 2 mg per volwassene in een gefluorideerd gebied [6].

Gezondheidkundige betekenis

Fluoride heeft (in lage concentraties) gunstige effecten voor het gebit, maar een hoge blootstelling aan fluoride in drinkwater of in combinatie met fluoride uit andere bronnen, kan zeer nadelige gezondheidseffecten hebben. Deze effecten variëren van een milde tandfluorose (witte tot bruine plekken in het tandglazuur) tot verlamrende skeletfluorose, waarbij de botten harder worden en gevoeliger worden voor breuken. Ook kunnen de botten dikker worden waardoor de gewrichten

niet meer goed kunnen functioneren [6]. Er zijn geen aanwijzingen dat fluoride kankerverwekkende eigenschappen zou hebben [6].

Bij een concentratie fluoride in drinkwater van minder dan 0,1 mg/l treedt snel ernstig tandbederf op [6]. Concentraties fluoride in drinkwater van circa 1 mg/l hebben een gunstig effect op de sterkte van het gebit en het voorkómen van cariës (gaatjes). Vanwege deze gunstige effecten wordt sinds de tweede helft van de vorige eeuw in verschillende landen fluoride aan het drinkwater toegevoegd. Dit betreft (delen) van de Verenigde Staten, Canada, Australië, Ierland, Spanje en Chili [7].

In Nederland werd in 1953 in Tiel voor het eerst fluoride aan drinkwater toegevoegd. Na een positief advies van de Gezondheidsraad besloten vanaf 1960 meer gemeenten en drinkwaterbedrijven fluoride aan drinkwater toe te voegen. In 1968 kwam bij ongeveer een kwart van de Nederlanders kunstmatig gefluorideerd water uit de kraan, met een dosis tot 1,2 milligram per liter [9]. Overigens moest aan personen die hiertegen bezwaar maakten drinkwater zonder toegevoegd fluoride worden verstrekt [8]. Eind jaren zestig kwam er een maatschappelijk debat op gang over de fluoridering van drinkwater. Het aantal Nederlanders met gezondheidsklachten zoals migraine, darm- en maagklachten, en depressies was sinds de fluoridering in acht jaar met 5% gestegen. Er kwamen protesten en juridische procedures tegen de verplichte 'massamedicatie'. De maatschappelijke en politieke druk leidde in 1973 tot een uitspraak van de Hoge Raad. Deze concludeerde dat er geen legale grondslag lag aan de fluoridering. Uit verschillende onderzoeken kwamen bovendien steeds meer schadelijke effecten naar voren. Sinds 1976 wordt er geen fluor meer toegevoegd aan het Nederlandse drinkwater [8].

Er zijn veel verschillende producten op de markt die toegevoegd fluoride bevatten ter voorkoming van tandbederf zoals zout, tabletten, gels en tandpasta. Met name voor jonge kinderen is dit van belang om sterke tanden te ontwikkelen [6].

Normen en richtlijnen verklaard

Een richtwaarde van 1,5 mg/l fluoride in drinkwater biedt volgens de WHO voldoende bescherming tegen de negatieve gezondheidseffecten [2]. De WHO merkt daarbij op dat in gebieden waar de dagelijkse inname van fluoride uit andere bronnen meer is dan 6 mg de richtwaarde van 1,5 mg/l voor dat gebied moet worden verlaagd [2]. In de Europese Drinkwaterrichtlijn is een parameterwaarde van 1,5 mg/l opgenomen. In het Drinkwaterbesluit is de maximum waarde eind 2022 verlaagd van 1,1 mg/l naar 1 mg/l, omdat een waarde van 1,1 mg/l een zekerheid impliceert over de toxicologische grenswaarde die er niet is [10]. Nederland heeft ervoor gekozen om een grenswaarde lager dan WHO-richtwaarde vast te stellen, omdat bij concentraties van 1,5 mg/l al tandfluorose kan optreden [10].

Aanwezigheid in drinkwater(bronnen) en monitoring

De Drinkwaterregeling schrijft voor dat fluoride na de laatste zuiveringsstap of aan de tap moet worden gemeten. Bij oppervlaktewater als bron moet fluoride ook in het ruwe water worden gemeten.

Tussen 2015 en 2020 wordt fluoride na de laatste zuiveringstap of aan het tappunt in alle locaties aangetroffen als de bron oppervlaktewater is. Wanneer grondwater de bron is, wordt fluoride in gemiddeld 88% van de meetlocaties aangetroffen. De rapportagegrens ligt tussen de 0,02 tot 0,05 mg/l. De mediaanconcentratie voor water na de laatste zuiveringsstap of aan het tappunt met oppervlaktewater als bron is 0,15 mg/l. Voor grondwater als bron is dit lager: 0,07 mg/l. De hoogste waarden gemeten voor alle jaren voor water met oppervlaktewater als bron zijn rond de 0,26 mg/l. Voor grondwater als bron is dit 0,22 mg/l met een maximum van 0,98 mg/l in 2019. In ruw oppervlaktewater wordt fluoride altijd aangetroffen boven de rapportagegrens. De mediaanconcentratie is hier tussen 2015 en 2020 0,13 mg/l en de maximale concentratie is 0,64 mg/l gemeten in 2016.

Zuivering

In Nederland is er geen noodzaak om fluoride uit grond- of oppervlaktewater te verwijderen om aan de maximum waarde te kunnen voldoen.

Op veel plaatsen in ontwikkelingslanden met hoge concentraties fluoride in het grondwater en

waar de bevolking afhankelijk is van dat grondwater voor drinkwater, is er grote behoefte aan zuiveringsmethoden om de concentratie fluoride te verlagen. De WHO geeft allereerst aan om te bekijken of de vervuilde grondwaterbron met water van elders kan worden verdund, omdat bestaande technologieën veel eisen stellen aan de waterbehandelaars [6]. De volgende verwijderingsmethoden zijn mogelijk: ionenwisselaars, beenderhoutschool, contactneerslag, Nalgonda, geactiveerd aluminiumoxide en klei. Geavanceerde waterbehandelingstechnologieën zoals omgekeerde osmose en elektrodialyse kunnen ook fluoride verwijderen, maar zijn erg kostbaar en vereisen nog veel meer technische kennis [6].

Referenties

- [1] [Fluoride Ion | F- | CID 28179 - PubChem \(nih.gov\)](#)
- [2] WHO Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first and second addenda. Geneva: World Health Organization; 2022.
[9789240045064-eng \(2\).pdf](#)
- [3] Mennen, M.G., Boshuis-Hilverdink, M.E., van Pul, W.A.J., Ngyuen, P.L., Hogendoorn, E.A., van Putten, E.M., de Groot, G.M. (2010). Emissies en verspreiding van fluoriden. RIVM-rapport 609100003/2010. RIVM, Bilthoven.
- [4] Volz, J., Ketelaars, H.A.M., Wagenvoort, A.J., (2002). 50 jaar Maaswaterkwaliteit – een overzicht. H₂O 3: 21-26.
- [5] <https://www.riwa-maas.org/publicatie/riwa-jaarrapport-2021-de-maas/>.
- [6] Fawell, J., Bailey, K., Dahi, E., Fewtrell, L., Magara, Y. (2006). Fluoride in Drinking-Water. WHO, Genève.
[9241563192_eng.pdf](#)
- [7] [Chemical fact sheets: Fluoride \(who.int\)](#)
- [8] <https://www.drinkwaterplatform.nl/fluoride-in-drinkwater-alles-vragen-en-antwoorden/>.
- [9] Centrale Raad voor de Gezondheid. (1964). Advies omtrent fluoridering van drinkwater. Nederlands Tijdschrift voor Geneeskunde 108 (5):231.
- [10] Van Dijk-Looijaard, A.M. (1993). Herziening Normen Waterleidingbesluit. SWO 92.294. KIWA, Nieuwegein.

● Gehalogeneerde azijnzuren (HAA's)

Grondslag norm: gezondheidkundig

Drinkwaterbesluit 2011 maximum waarde 60 µg/l

(Opmerkingen: (i) Deze parameter wordt alleen gemeten wanneer desinfectiemethoden die HAA's kunnen voortbrengen, worden gebruikt voor het desinfecteren van voor menselijke consumptie bestemd water. Deze is de som van de volgende vijf representatieve stoffen: monochloor-, dichloor- en trichloorazijnzuur, en mono- en dibroomazijnzuur (ii) Deze norm wordt van kracht op 12 januari 2026).

WHO 2022: geen richtwaarde

EU Drinkwaterrichtlijn 2020: parameterwaarde 60 µg/l

(Opmerking: Deze parameter wordt alleen gemeten wanneer desinfectiemethoden die HAA's kunnen voortbrengen, worden gebruikt voor het desinfecteren van voor menselijke consumptie bestemd water. Deze is de som van de volgende vijf representatieve stoffen: monochloor-, dichloor- en trichloorazijnzuur, en mono- en dibroomazijnzuur).

Herkomst

Bij het 'chloren' van drinkwater zullen trihalomethanen (THM's, zie betreffende factsheet) en gehalogeneerde azijnzuren (HAA's) de belangrijkste 'nevenproducten' of 'desinfectiebijproducten' zijn als gevolg van chlorering van natuurlijk voorkomende organische precursors zoals humuszuren [1]. De pH-waarde tijdens het chloren beïnvloedt de verdeling van gechloreerde desinfectiebijproducten: verlaging van de pH verlaagt de vorming van THM's, maar gaat ten koste van een verhoogde vorming van HAA's en omgekeerd leidt een verhoging van de pH tot een verlaging van de vorming van HAA's en tot een verhoogde vorming van THM's. THM's en HAA's blijken de beste indicatoren voor desinfectiebijproducten. De meest geschikte manier om desinfectiebijproducten van de chlorering van drinkwater te beheersen, is het verwijderen van de organische precursors, die grotendeels van natuurlijke oorsprong zijn. Als bromide in het drinkwater aanwezig is, kan ook dat zijn betrokken bij reacties met van nature voorkomende organische stoffen waarbij desinfectiebijproducten op basis van zowel broom als een combinatie van broom en chloor kunnen worden gevormd [1]. In Nederland wordt geen chloor meer gebruikt als hoofddesinfectiemiddel. Eind 2005 is het laatste Nederlandse drinkwaterbedrijf hiermee gestopt. De concentraties trihalomethanen in het drinkwater zijn hierdoor sterk gedaald. Op enkele plaatsen wordt nog wel chloor gedoseerd om de aangroei van met name driehoeksmosselen (*Dreissena polymorpha*) en/of quaggamosselen (*Dreissena bugensis*) in transportleidingen voor ruwwater te bestrijden ('transportchloring') [2, 3]. De gedoseerde concentraties chloor zijn echter laag (circa 0,5 – 0,7 mg/l), waardoor ook de concentraties aan gevormde bijproducten naar verwachting laag zullen zijn [3].

Blootstellingsroutes

In Nederland vindt blootstelling aan gehalogeneerde azijnzuren hoofdzakelijk plaats door aanraking met water in zwembaden die worden ontsmet met chloor of chloorbleekloog [4]. Ook via voedsel kan blootstelling optreden, bijvoorbeeld als groenten of fruit gewassen zijn in gechloord water. Aangetroffen gehalten liggen dan in de range van 1 – 10 µg/kg [4]. Afhankelijk van de aard van een HAA bedraagt de concentratie in gechloord drinkwater doorgaans maximaal enkele µg/l [4] en ligt daarmee ver onder de geldende grenswaarde.

Gezondheidkundige betekenis

Van enkele gehalogeneerde azijnzuren (met name die met broom) kan redelijkerwijs worden verwacht dat deze een verhoogd risico op kanker geven, maar de precieze werking is nog onduidelijk [4]. Hoewel er voor de meeste gehalogeneerde azijnzuren wel kennis over metabolisme en toxicologische mechanismen beschikbaar is, is deze onvoldoende om alle gehalogeneerde azijnzuren als een groep gezondheidkundig te beoordelen, of subgroepen aan te wijzen.

Normen en richtlijnen verklaard

In de Verenigde Staten schrijft de EPA (Environmental Protection Agency) ten aanzien van gehalogeneerde azijnzuren een maximale waarde van 60 µg/l in drinkwater voor en de FDA (Food and Drug Administration) hanteert dezelfde waarde voor gebotteld water [4]. De vigerende Europese Drinkwaterrichtlijn schrijft dezelfde maximale waarde voor, die door Nederland is overgenomen. De WHO adviseerde in 2017 om de concentraties zo laag te houden als dat redelijkerwijs mogelijk is door natuurlijke precursoren te minimaliseren dan wel uit de grondstof te verwijderen [7].

Aanwezigheid in drinkwater(bronnen) en monitoring

Voor de parameter 'gehalogeneerde azijnzuren' geldt vanaf 12 januari 2026 een meetverplichting in het geval het drinkwater wordt gedesinfecteerd met chloor of andere desinfectiemethoden waarbij HAA's worden gevormd. Het Drinkwaterbesluit schrijft voor dat dan de volgende vijf HAA's dienen te worden gemeten aan het tappunt of na de laatste zuiveringsstap: monochloorazijnzuur, dichloorazijnzuur, trichloorazijnzuur, monobroomazijnzuur en dibroomazijnzuur. In Nederland worden de bedoelde desinfectiemethoden al vele jaren niet meer toegepast. Uitsluitend in het geval van een calamiteit waarbij sprake is van een microbiologische verontreiniging van het drinkwater wordt het drinkwater tijdelijk gechloord.

De drinkwaterbedrijven hebben de HAA's maar in beperkte mate laten meten. In 2020 zijn er geen gegevens gerapporteerd. Tussen 2015 en 2019 worden in 24% van de meetlocaties een tot meerdere van de vijf genoemde individuele gehalogeneerde azijnzuren na de laatste zuiveringsstap boven de rapportagegrens gemeten. Dit percentage neemt over de jaren toe, maar dat kan ook aan de voor enkele stoffen verlaagde rapportagegrenzen liggen. De rapportagegrens in het meest recente jaar (2019) ligt (afhankelijk van de stof) tussen de 0,02 (dichloorazijnzuur) en 0,5 (monochloorazijnzuur) µg/l. Het jaargemiddelde voor de stoffen ligt op de rapportagegrens. Gemeten maxima zijn 4,1 µg/l voor dibroomazijnzuur, 0,62 µg/l voor dichloorazijnzuur, 1,2 µg/l voor monobroomazijnzuur, 0,63 µg/l voor monochloorazijnzuur en 0,15 µg/l voor trichloorazijnzuur, en de verschillende jaargemiddelde concentraties liggen daarmee ver onder de maximum waarde volgens het Drinkwaterbesluit en de Europese Drinkwaterrichtlijn. Omdat de gebruikte REWAB-data geaggregeerde jaargegevens zijn, is het niet mogelijk hiermee een som uit te rekenen.

In de ILT rapportages staan de (incidentele) overschrijdingen van de grenswaarden beschreven en het betreft dan meestal de metingen van drinkwaterbedrijf PWN (bron: jaarrapportages ILT 2015 – 2022):

Parameter	Overschrijding	Jaargang ILT rapport
Dibroomazijnzuur	8 keer	2015
Dibroomazijnzuur	12 keer	2016
Broomchloorazijnzuur	1 keer	2016
Monobroomazijnzuur	2 keer	2016
Dibroomazijnzuur	2 keer	2017
Dibroomazijnzuur	5 keer	2019
Broomchloorazijnzuur	1 keer	2021

Zuivering

Niet van toepassing: het chloren van drinkwater c.q. de dosering van een desinfectiemiddel gebeurt bij calamiteiten soms aan het einde van de zuivering of door middel van daarvoor bedoelde apparatuur in het leidingnet [5, 6].

Referenties

[1] WHO (2022): Guidelines for drinking-water quality; Fourth edition incorporating the first and second addenda, WHO, Geneva.
[9789240045064-eng \(2\).pdf](#)

- [2] Verschoor, A.M. (2019): 'Effecten van invasieve schelpdieren op drinkwaterproductie en - distributie, rapport [BTO 2019.046](#), KWR Water Research Institute, Nieuwegein.
- [3] Mook, J. van (2014): *Dreissena*-mosselen bij Evides Waterbedrijf; Bedrijfsbreed onderzoek betreffende biologie, ecologie, beheersing en monitoring', onderzoeksrapport, Evides Waterbedrijf, Rotterdam.
- [4] National Toxicology Program (2018): 'Report on Carcinogens monograph on haloacetic acids found as water disinfection by-products', Research Triangle Park, NC: National Toxicology Program, RoC Monograph 12.
<https://doi.org/10.22427/ROC-MGRAPH-12>
- [5] Meerkerk, M.A. (2020): 'Hygiënecode Drinkwater; *Deel 1: Algemeen*', praktijkcode [PCD 1-1:2020](#), KWR Water Research Institute, Nieuwegein.
- [6] Meerkerk, M.A. (2021): 'Hygiënecode Drinkwater; *Deel 4: Opslag, transport en distributie*', praktijkcode [PCD 1-4:2021](#), KWR Water Research Institute, Nieuwegein.
- [7] WHO (2017): 'Drinking Water Parameter Cooperation Project Support to the revision of Annex I Council Directive 98/83/EC on the Quality of Water Intended for Human Consumption (Drinking Water Directive).
[20171215_EC_project_report_final_corrected\(2\).pdf](#)

- **Gehalogeneerde alifatische koolwaterstoffen, tetra- en trichlooretheen en 1,2-dichloorethaan**

Gehalogeneerde alifatische koolwaterstoffen:

Grondslag norm: signaleringsparameter

Drinkwaterbesluit 2011: maximum waarde 1 µg/l

WHO 2017: geen vermelding

Europese Drinkwaterrichtlijn 2020: geen vermelding

Tetra- en trichlooretheen:

Grondslag norm: gezondheidskundig

Drinkwaterbesluit 2011: maximum waarde 10 µg/l (som van tetra- en trichlooretheen)

WHO 2017: trichlooretheen richtwaarde 20 µg/l, tetrachlooretheen richtwaarde 40 µg/l

Europese Drinkwaterrichtlijn 2020: parameterwaarde 10 µg/l (som van tetra- en trichlooretheen)

1,2-Dichloorethaan:

Grondslag norm: gezondheidskundig

Drinkwaterbesluit 2011: maximum waarde 3,0 µg/l

WHO 2017: richtlijn 30 µg/l

Europese Drinkwaterrichtlijn 2020: parameterwaarde 3,0 µg/l

Ook de stof vinylchloride behoort weliswaar tot de groep gehalogeneerde alifatische koolwaterstoffen, maar voor die stof is er een aparte factsheet.

Herkomst

Gehalogeneerde alifatische koolwaterstoffen zijn lineaire koolwaterstofverbindingen met een of meer halogeenatomen (halogenen zijn atomen die met een metaalatoom een zout kunnen vormen; dit betreft met name broom, chloor, fluor en jodium). De bekendste gehalogeneerde koolwaterstoffen zijn de trihalomethanen (zie de factsheet voor chloor) en de gechloreerde koolwaterstoffen. Gechloreerde koolwaterstoffen zijn over het algemeen slecht biologisch afbreekbaar, bijzonder giftig en vaak kankerverwekkend [1].

Tetrachlooretheen (ook bekend als tetrachloorethyleen of perchloorethyleen (ook afgekort tot per) [2] wordt voornamelijk gebruikt in chemische waterrijen als oplosmiddel en in mindere mate als ontvettingsmiddel voor metaal. De stof is wijdverspreid in het milieu en is in spoorconcentraties gevonden in water, waterdieren, lucht en menselijk weefsel. De hoogste concentraties zijn gevonden nabij de industrieën die de stof toepassen. Emissies van die industrieën kunnen soms leiden tot grondwaterverontreinigingen, waarbij concentraties zijn gemeten van tientallen milligrammen per liter. Tetrachlooretheen kan in anaeroob grondwater worden afgebroken tot onder andere het giftige vinylchloride (= chlooretheen) [3]. Ongeveer 85% van de tetrachlooretheen komt vrij in de atmosfeer [2].

Het gebruik van tetrachlooretheen door stomerijen is al op verschillende plaatsen verboden (California, Parijs). Er zijn voldoende veilige vervangers voor de stof [2]. Tetrachlooretheen wordt ook gebruikt in de productie van fluorkoolwaterstoffen.

Trichlooretheen (trichloorethyleen of tri) wordt hoofdzakelijk toegepast als ontvetter voor metaal. Verder wordt het gebruikt als oplosmiddel in kleefstoffen en andere producten. Het is een interessant oplosmiddel in kleefstoffen, omdat het niet-ontvlambaar is en snel vervluchtigt. Trichlooretheen werd vroeger door stomerijen gebruikt als reinigingsmiddel, maar voor deze toepassing is het vervangen door tetrachlooretheen. Het is gebruikt voor het oplossen van vlekken in tapijt en kleding (hiervoor stond het bekend als 'tri'). Tegenwoordig is de verkoop aan particulieren verboden. Trichlooretheen werd vroeger ook gebruikt als anesthesiegas, voordat de schadelijke eigenschappen van de stof bekend waren [4]. Trichlooretheen wordt voornamelijk naar de atmosfeer uitgestoten, maar kan ook in het grondwater terecht komen en in mindere mate in het oppervlaktewater door industriële lozingen. Via afvalwater of via atmosferische depositie kan de stof het oppervlaktewater bereiken. In bodem en water kan trichlooretheen worden omgezet in onder andere het giftige vinylchloride [5].

1,2-Dichloorethaan of ethyleendichloride wordt hoofdzakelijk gebruikt bij de productie van vinylchloride en als apolair oplosmiddel, ontvetter of verfverwijderaar [3, 6]. De stof is gebruikt als ontsmettingsmiddel in de landbouw, maar is in veel landen niet meer toegestaan [7]. 1,2-Dichloorethaan komt in het oppervlaktewater terecht door lozingen van fabrieken die de stof produceren of gebruiken. Vanuit afvalstortplaatsen kan het grondwater worden verontreinigd, wat tot een langdurige verontreiniging kan leiden, omdat de stof er niet kan verdampen [7]. De stof is ook aangetoond in de lucht in stedelijke omgeving [3].

Bepaalde organische stoffen kunnen door kunststof (onderdelen van) drinkwaterleidingen permeëren. Dat is met name het geval voor gehalogeneerde alifatische koolwaterstoffen.

Blootstellingsroutes

In voedsel is tetrachlooretheen aangetroffen in concentraties van 0,4 – 100 µg/kg. De hoogste gehalten werden gemeten in vette producten zoals margarine en boter. Vanwege het lipofiele karakter van de stof bindt het gemakkelijk aan vetmoleculen. Voedsel dat is opgeslagen of wordt verkocht in de buurt van stomerijen kan aanzienlijk hogere concentraties tetrachlooretheen bevatten [8].

Tetrachlooretheen komt regelmatig voor in de lucht en wordt waargenomen in concentraties tot 70 µg/m³, afhankelijk van het land en of het om stedelijk of landelijk gebied gaat [8]. Binnenshuis kunnen de concentraties veel hoger zijn als gevolg van stomerijen in de buurt of hobby-activiteiten zoals fotografie [8].

Trichlooretheen is in voedsel gevonden met de hoogste gehalten in aardappelchips en knakworstjes (tot 140 µg/kg). Deze stof is ook vaak in avocado's aangetoond. Gezien de sterke beperkingen aan het gebruik van trichlooretheen in Noord-Amerika en Europa kan worden verwacht dat de gehalten in voedsel de laatste decennia aan het afnemen zijn [5].

Trichlooretheen wordt wereldwijd in de lucht aangetroffen, zowel buitenshuis als binnenshuis. De concentraties nemen sinds de jaren 80 van de vorige eeuw af. De gemiddelde concentratie daalde van 1,5 µg/m³ eind jaren 80 naar 0,8 µg/m³ eind vorige eeuw. Het 95-percentiel trichlooretheen op plaatsen verspreid over de VS bedroeg in 2002 en 2018 respectievelijk 0,25 µg/m³ en 0,0128 µg/m³ [5].

Er is een bacterie ontdekt (*Dehalococcoides ethenogenes*) die (onder de juiste omstandigheden) tri- en tetrachlooretheen volledig kan afbreken en daarmee onschadelijk maken [9].

1,2-Dichloorethaan wordt bijna niet in voedselproducten aangetroffen. Het is op ng/g niveau of lager aangetoond in graan, boter, cake en melk [7].

Voor bovenstaande stoffen geldt dat de lucht de belangrijkste blootstellingsroute is. Blootstelling via drinkwater is zeer beperkt, behalve in specifieke situaties waar verontreiniging van de bron heeft plaatsgevonden en de stoffen niet worden verwijderd in de zuivering.

Gezondheidkundige betekenis

Hoge concentraties tetrachlooretheen hebben effecten op het centrale zenuwstelsel. Lagere concentraties kunnen leiden tot lever- en nierbeschadigingen. Het Internationaal Agentschap voor Kankeronderzoek (IARC) heeft tetrachlooretheen geclassificeerd als een carcinogeen in groep 2A, wat betekent dat het waarschijnlijk kankerverwekkend is voor de mens. De stof is niet genotoxisch. Bij onderzoek op muizen en ratten is aangetoond dat tetrachlooretheen levertumoren veroorzaken bij muizen en niertumoren bij mannelijke ratten [3]. Bij directe blootstelling aan de huid lost tetrachlooretheen vetten uit de huid op, wat kan leiden tot huidirritatie. Beroeps- of hobbymatige blootstelling aan deze stof wordt in verband gebracht met de ziekte van Parkinson [2, 10].

Trichlooretheen is ook geclassificeerd als een carcinogeen in groep 2A (waarschijnlijk kankerverwekkend voor de mens) en is zwak genotoxisch. Trichlooretheen heeft al in lage concentraties effecten op de ontwikkeling van ongeboren kinderen, met name hartafwijkingen [3]. 1,2-dichloorethaan is een kankerverwekkende stof die directe schade kan veroorzaken aan het genetisch materiaal van mensen [11].

Tri- en tetrachlooretheen kunnen in de bodem worden omgezet in vinylchloride. Deze verbinding is door de IARC ingedeeld in klasse 1: de stof is kankerverwekkend voor de mens én genotoxisch [3].

Normen en richtlijnen verklaard

De signaleringswaarde van 1 µg/l voor de alifatische gehalogeneerde koolwaterstoffen in het Drinkwaterbesluit is gebaseerd op het voorzorgsprincipe en geldt voor alle antropogene stoffen. Enkele individuele stoffen uit de groep met alifatische gehalogeneerde koolwaterstoffen zijn met bijbehorende maximum waarde separaat in dat besluit opgenomen: 1,2-dichloorethaan met een maximum waarde van 3,0 µg/l en tetra- en trichlooretheen met een maximum waarde van 10 µg/l voor de som van de concentratie van beide stoffen.

Het Scientific Committee on Toxicology and Ecotoxicology van de EU heeft een normwaarde van 10 µg/l voor de som van tetra- en trichlooretheen afgeleid. Deze waarde is in het Nederlandse Drinkwaterbesluit overgenomen.

De WHO heeft voor tetrachlooretheen een richtlijnwaarde van 40 µg/l vastgesteld. Deze is gebaseerd op een studie waarin toxische effecten op de lever werden waargenomen. Bij het afleiden van de richtlijnwaarde is rekening gehouden met het feit dat tetrachlooretheen mogelijk carcinogeen is [3].

Voor trichlooretheen is door de WHO een voorlopige richtlijnwaarde van 20 µg/l afgeleid. Deze waarde is voorlopig, omdat er onduidelijkheden en kennisleemten in de toxicologische database zitten. De richtlijnwaarde beschermt zowel tegen de ontwikkeling van kanker alsook andere aandoeningen [3].

De WHO-richtlijn voor 1,2-dichloorethaan bedraagt 30 µg/l. De IARC heeft 1,2-dichloroethaan in groep 2B (mogelijk kankerverwekkend voor de mens) ingedeeld. Het is aangetoond dat de stof het aantal tumoren (waaronder het relatief zeldzame hemangiosarcoma, kwaadaardige tumor in de bloedvaten en milt) significant verhoogt in proefdieren. De toxicologische gegevens wijzen erop dat de stof genotoxisch zou kunnen zijn. Oraal gedoseerde proefdieren kregen aandoeningen aan het immuunsysteem, centraal zenuwstelsel en lever en nieren. De gegevens laten ook zien dat 1,2-dichloorethaan minder schade veroorzaakt als het wordt ingeademd [3].

Aanwezigheid in drinkwater(bronnen) en monitoring

Tetra- en trichlooretheen en 1,2-dichloorethaan dienen volgens de Drinkwaterregeling na de laatste zuiveringsstap of aan het tappunt te worden gemeten. Gehalogeneerde alifatische koolwaterstoffen dienen volgens die ministeriële regeling in het ruwe water te worden gemeten.

Tussen 2015 en 2020 zijn gehalogeneerde alifatische koolwaterstoffen in ruw oppervlaktewater in gemiddeld 10,3% van de gerapporteerde winpunten aangetroffen. Er is geen trend in dit

percentage. De rapportagegrenzen van de individuele stoffen variëren tussen 0,0001 en 4 µg/l. De mediaanconcentratie is 0,04 µg/l en de maxima (gemeten per stof) liggen tussen de 0,23 en 14 µg/l. Gemeten maxima waren het hoogst voor dichloormethaan (14 µg/l) en trichloormethaan (3,2 µg/l).

Tussen 2015 en 2020 zijn tetra- en trichlooretheen als somparameter aan het tappunt over de jaren gemiddeld op 8,7% van de locaties aangetroffen. De rapportagegrens is 0,05 µg/l. Er is geen trend in dit percentage. De mediaanconcentratie is in alle jaren gelijk aan de rapportagegrens. Relatief hoge maxima zijn gemeten in 2018 (7,8 µg/l) en in 2019 (4,8 µg/l). De maxima in andere jaren liggen tussen de 0,69 en 3,3 µg/l.

Tussen 2015 en 2018 is 1,2-dichloorethaan aan het tappunt over de jaren gemiddeld op 3,1% van de gerapporteerde locaties aangetroffen. Voor de jaren 2019 – 2020 zijn er geen data. De rapportagegrens ligt tussen de 0,05 – 0,1 µg/l. De mediaanconcentratie ligt voor alle jaren op de rapportagegrens (0,1 µg/l). Het maximum gemeten over de jaren ligt tussen de 0,12 en 0,88 µg/l.

Zuivering

Trichlooretheen en tetrachlooretheen kunnen beide goed uit water worden verwijderd met intensieve beluchting, eventueel aangevuld met actieve-koolfiltratie. Afhankelijk van het type proces en de inrichting kan een verwijdering van meer dan 90% worden bereikt [3].

Concentraties 1,2-dichloorethaan kunnen worden verlaagd met beluchting en met actieve-koolfiltratie [3].

Referenties

- [1] wiki koolwaterstoffen <https://nl.wikipedia.org/wiki/Koolwaterstof>.
- [2] <https://nl.wikipedia.org/wiki/Tetrachlooretheen>.
- [3] World Health Organization (2017): Guidelines for drinking-water quality; Fourth edition incorporating the first addendum. WHO, Genève.
- [4] Wiki tri: <https://nl.wikipedia.org/wiki/Trichlooretheen>.
- [5] WHO (2020): Trichloroethene in drinking-water. Background document for development of *WHO Guidelines for drinking-water quality*. WHO/HEP/ECH/WSH/2020.10. WHO, Genève.
- [6] <https://nl.wikipedia.org/wiki/1,2-dichloorethaan>.
- [7] WHO (2003): 1,2-Dichloroethane in Drinking-water. Background document for development of *WHO Guidelines for drinking-water quality*. WHO/SDE/WSH/03.04/67. WHO, Genève.
- [8] WHO (2020): Tetrachloroethene in drinking-water. Background document for development of *WHO Guidelines for drinking-water quality*. WHO/HEP/WSH/2020.9. WHO, Genève.
- [9] Magnuson JK, Romine MF, Burris DR, Kingsley MT (december 2000). Trichloroethene reductive dehalogenase from *Dehalococcoides ethenogenes*: sequence of tceA and substrate range characterization. *Appl. Environ. Microbiol.* **66** (12): 5141–7. PMID: [11097881](#). PMC: [92435](#).
- [10] [Solvent Exposures and Parkinson's Disease Risk in Twins - PMC \(nih.gov\)](#)
- [11] [1,2-Dichloorethaan | Advies | Gezondheidsraad](#)

● Gehalogeneerde monocyclische koolwaterstoffen

Grondslag norm: indicator/signalering

Drinkwaterbesluit 2011: maximum waarde 1 µg/l

Opmerking:

Voor enkele individuele stoffen uit deze parametergroep geldt ook een maximale waarde in tabel II⁷.

WHO 2022: geen richtwaarde

EU Drinkwaterrichtlijn 2020: geen vermelding

Herkomst

Gehalogeneerde monocyclische koolwaterstoffen hebben één benzeenring, waarin een of meer waterstofatomen zijn vervangen door een halogeen (fluor, chloor, broom of jood) in hun verbinding. Bij de gehalogeneerde monocyclische koolwaterstoffen of aromaten gaat het in theorie om een lange lijst met stoffen zoals chlooralkylbenzenen (als 2-chloormethylbenzeen), chloornitrobenzenen, chloormethoxybenzenen, fluoralkylbenzenen en chloorbenzeensulfonaten. Naast broombenzeen zijn de meest voorkomende en bekende stoffen van deze groep chloorbenzenen. Die laatstgenoemde groep bestaat uit twaalf stoffen:

- monochloorbenzeen
- dichloorbenzenen:
 - 1,2-dichloorbenzeen
 - 1,3-dichloorbenzeen
 - 1,4-dichloorbenzeen
- trichloorbenzenen:
 - 1,2,3-trichloorbenzeen
 - 1,2,4-trichloorbenzeen
 - 1,3,5-trichloorbenzeen
- tetrachloorbenzenen:
 - 1,2,3,4-tetrachloorbenzeen
 - 1,2,3,5-tetrachloorbenzeen
 - 1,2,4,5-tetrachloorbenzeen
- pentachloorbenzeen
- hexachloorbenzeen

Chloorbenzenen worden voornamelijk gebruikt als tussenproducten bij de synthese van andere chemicaliën en kunnen ook aanwezig zijn als onzuiverheden in chemische formuleringen (bijvoorbeeld bij kleurstoffen en biociden). Chloorbenzenen kunnen worden gebruikt als verfdragers of egaliseermiddelen voor verven, bij het bedrukken en de coating van textiel- en leermaterialen, waaronder vezels, garens en stoffen. Ze worden ook gebruikt in deodoranten (ontgeuringsmiddelen), ontsmettingsmiddelen, ontvetters en ontbladeringsmiddelen [1]. 1,4-Dichloorbenzeen wordt in mottenballen gebruikt ter vervanging van het traditionele naftaleen [2].

Blootstellingsroutes

Gehalogeneerde monocyclische koolwaterstoffen worden in het milieu aangetroffen, veelal in lage concentraties. Blootstelling vindt met name plaats bij de productie van de stoffen of bij het verwerken ervan. Chloorbenzenen worden dan voornamelijk via de lucht ingeademd, andere gehalogeneerde monocyclische koolwaterstoffen kunnen ook via de huid of via de mond in het lichaam terechtkomen [3, 4, 5].

⁷ Ondanks deze opmerking blijken er in Tabel II van het Drinkwaterbesluit geen individuele gehalogeneerde monocyclische koolwaterstoffen voor te komen.

Gezondheidkundige betekenis

Voor een groepsparameter is geen eenduidige gezondheidkundige betekenis te geven. Chronische blootstelling kan een effect hebben op het centraal zenuwstelsel met als gevolgen een doof gevoel (een verminderd of zelfs afwezig gevoel), blauwe verkleuring van de huid (blauwzucht), extreme gevoeligheid van de huid en spiertrekkingen [1]. Andere stoffen uit deze groep kunnen toxischer of minder toxisch zijn [3, 4, 5, 6]. Voor veel gehalogeneerde monocyclische koolwaterstoffen (met name chloorbenzenen) ligt de smaak/geurdrempel lager dan de humaan toxicologische grenswaarde [7].

Normen en richtlijnen verklaard

De norm in het Drinkwaterbesluit betreft een signaleringsparameter. Zoals voor veel andere signaleringsparameters geldt een maximum van 1 µg/l voor het totaal aan gehalogeneerde monocyclische koolwaterstoffen [8]. Voor enkele individuele stoffen uit deze groep met stoffen geldt ook een maximum waarde (zie boven).

Aanwezigheid in drinkwater(bronnen) en monitoring

Op basis van de Drinkwaterregeling dient de parameter gehalogeneerde monocyclische koolwaterstoffen te worden bepaald in ruw grondwater en in ruw oppervlaktewater dat de grondstof voor drinkwater is.

Voor ruw oppervlaktewater zijn tussen 2015 en 2020 16 gehalogeneerde monocyclische koolwaterstoffen gerapporteerd in REWAB. Voor ruw grondwater zijn dit er 18.

Drinkwaterbedrijven meten uitsluitend de stoffen die als relevant worden beoordeeld binnen de groep waarbij met ILT is afgesproken dat die worden gemeten volgens het voorgenomen meetprogramma. Rapportagegrenzen variëren tussen 0,01 en 0,05 µg/l. Het percentage meetlocaties waar de gemeten stoffen worden aangetroffen, ligt elk jaar rond de 6% voor ruw oppervlaktewater. De gemiddelde waarden in de meetlocaties liggen tussen deze jaren op de rapportagegrens van 0,05 µg/l. De jaarlijkse maximale waarden gemeten in ruw oppervlaktewater liggen ook rond deze rapportagegrens. In 2015 zijn 1,2-dichloorbenzeen en 1,3-dichloorbenzeen eenmalig met maxima van respectievelijk 0,18 en 0,07 µg/l gemeten. De andere metingen (voor zover boven de rapportagegrens) liggen allemaal daaronder.

Voor ruw grondwater zijn monocyclische koolwaterstoffen tussen 2015 en 2020 gemiddeld in slechts 1% van de locaties aangetroffen. De mediaanconcentratie ligt voor alle stoffen onder de hoogste rapportagegrens. De maxima gemeten waarde is 0,12 µg/l en dan specifiek voor de stof 1,2-dichloorbenzeen.

In de ILT-rapportages staat de parameter 'Gehalogeneerde monocyclische koolwaterstoffen' als zodanig niet apart vermeld in de jaren van 2015 – 2021. Wel staan in deze periode de 'gehalogeneerde alifatische koolwaterstoffen' en 'monocyclische koolwaterstoffen/aromaten' benoemd als een parameter waarvoor de signaleringswaarde wordt overschreden. In de rapportage over het jaar 2020 staan twee overschrijdingen van de indicator-parameters genoemd: 'Vluchtige Aromatische Koolwaterstoffen (VAK)/Vluchtige Gehalogeneerde Koolwaterstoffen'.

Zuivering

Vluchtige gehalogeneerde monocyclische koolwaterstoffen kunnen tijdens beluchtingsprocessen worden verwijderd. Door middel van coagulatie-flocculatie-sedimentatie en snelfiltratie worden ze niet verwijderd (< 29%). Bij toepassing van flotatie zou wel 'verdamping' kunnen optreden.

Vanwege hun relatief lage molmassa zal RO deze stoffen kunnen verwijderen (> 94%), maar zullen andere membraanprocessen waaronder NF niet of minder effectief zijn.

De aromatische ring van deze stoffen is goed oxideerbaar, waardoor deze stoffen tijdens oxidatieprocessen zullen worden afgebroken.

Adsorptie aan actieve kool is mogelijk, maar waarschijnlijk treedt in het geval van filtratie betrekkelijk snel doorbraak op, omdat het om relatief polaire en kleine moleculen gaat [9].

Referenties

- [1] <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Chlorobenzene>
- [2] <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/4685>
- [3] <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/13>
- [4] <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/7474#section=NIOSH-Toxicity-Data>.
- [5] <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/7474#section=Medical-Surveillance>
- [6] Lijzen, J.P.A., Baars A.J., Otte P.F., Verbruggen E.M.J., van Wezel, A.P. (2002). Achtergronden bij de herziene risicogrenzen voor bodem, sediment en grondwater in het kader van de 'Evaluatie interventiewaarden bodemsanering'. RIVM rapport 711701028. RIVM, Bilthoven.
- [7] WHO. (2022). Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first and second addenda.: WHO, Geneva. [9789240045064-eng \(2\).pdf](#)
- [8] van Dijk-Looijaard, A.M. (1993). Herziening Normen Waterleidingbesluit, rapport SWO 93.340, KIWA Onderzoek en Advies, Nieuwegein.
- [9] Government of Canada (2005) Guidelines for Canadian Drinking Water Quality: Guideline Technical Document – Benzene.

● Geleidingsvermogen

Grondslag norm: indicator/bedrijfstechnisch

Drinkwaterbesluit 2011: maximum waarde 125 mS/m bij 20°C

WHO 2022: geen richtwaarde

EU Drinkwaterrichtlijn 2020: parameterwaarde 2.500 μ S/cm bij 20°C (= 250 mS/m), met de opmerking 'Het water zou niet agressief mogen zijn.'

Herkomst

Deze parameter betreft het geleidingsvermogen voor elektriciteit zoals dat bij de betreffende parameter is verwoord in de Europese Drinkwaterrichtlijn: het vermogen van een waterige oplossing om elektrische stroom te geleiden. Andere gangbare namen zijn elektrisch geleidingsvermogen (EGV) of geleidbaarheid.

Als we door water een elektrische stroom willen laten lopen dan moet er sprake zijn van transport van elektronen. Er is uitsluitend geleiding als er genoeg geladen deeltjes (ionen) in het water aanwezig zijn om de elektronen te transporteren en dus een elektrische stroom te laten lopen. In puur gedestilleerd water zijn erg weinig ionen aanwezig, zodat er sprake is van een zeer slechte geleiding van het water. Het heeft een hoge elektrische weerstand. Lossen we een ionogene stof in water op dan zal die zich splitsen in positief en negatief geladen ionen. Niet alle stoffen ioniseren (splitsen) zich in water in delen, maar vooral zouten doen dat wel. Zeewater bevat heel veel opgeloste zouten en heeft een EGV van 5.400 mS/m. Regenwater daarentegen heeft een EGV van circa 30 mS/m [1]. Het geleidingsvermogen van oppervlaktewater wordt bepaald door de concentratie aan ionen, die wordt beïnvloed door lozingen van afvalwater, neerslag en droogteperioden. De geleidbaarheid van grondwater is erg plaat afhankelijk (en hangt af van de samenstelling van de bodem, het zoutgehalte en aanwezige verontreinigingen). Zo is dicht bij de kust het ondiepe grondwater vaak verzilt en kan in de ondiepe lagen een verhoogde zoutdruk (geleidbaarheid) worden gemeten. Maar ook in diepere grondwaterwinningen (bijvoorbeeld winningen uit het 'Landeniaan-zand') kan het geleidingsvermogen hoog zijn als gevolg van de samenstelling van de bodem [2].

Het geleidingsvermogen is afhankelijk van de temperatuur: hoe hoger de temperatuur, hoe hoger het geleidingsvermogen. Het geleidingsvermogen neemt per graad Celsius met 2% à 3% toe [3].

Geleidbaarheidsmetingen kunnen worden gebruikt om:

- de mate van mineralisatie te bepalen om de effecten van de totale ionconcentraties op corrosiesnelheden te kunnen berekenen;
- variatie in opgeloste minerale bestanddelen in ruwwater te evalueren;
- een schatting te maken van de totale hoeveelheid opgeloste stoffen ('Total Dissolved Solids' (TDS)/droogrest) [4].

De EGV kan ook worden gebruikt om gemeten ionconcentraties te valideren.

Blootstellingsroutes

Een blootstellingsroute is bij deze parameter vanwege de aard niet relevant.

Gezondheidskundige betekenis

Er kan met behulp van deze parameter geen relatie worden gelegd tussen individuele componenten (opgeloste zouten) en gezondheidsaspecten. De grondslag van deze parameter is bedrijfstechnisch.

Normen en richtlijnen verklaard

Het geleidingsvermogen van drinkwater heeft geen gezondheidskundige betekenis. De WHO heeft daarom geen richtwaarde opgesteld. In Nederland wordt al heel lang een maximum waarde van

125 mS/m gehanteerd. Het is niet bekend waarom de parameterwaarde uit de EU Drinkwaterrichtlijn tweemaal hoger is.

Aanwezigheid in drinkwater(bronnen) en monitoring

De parameter 'geleidingsvermogen' dient volgens de Drinkwaterregeling te worden gemeten in het ruwe water en in drinkwater aan het tappunt.

Tussen 2015 en 2020 heeft de geleiding van het water in het leidingnet een mediaanwaarde in REWAB rond de 35 mS/m. Gemeten maxima per jaar zijn rond de 87 mS/m. Geleiding is sterk afhankelijk van de meetlocatie (zie boven). De jaarlijkse gemiddelden tussen meetlocaties in het leidingnet variëren tussen 20 en 80 mS/m. De mediaanconcentratie in ruw oppervlaktewater ligt rond de 54,6 mS/m. In ruw grondwater is dit 40,3 mS/m. Het gemiddelde geleidingsvermogen in ruw grondwater neemt licht toe met 0,4 mS/m per jaar. De jaarlijks maximum gemeten waarde in ruw oppervlaktewater ligt door de jaren heen rond de 90,2 mS/m. In ruw grondwater is dit 112 mS/m. Ook in ruw oppervlakte- en grondwater zijn er grote verschillen in geleidingsvermogen tussen meetlocaties.

Zuivering

Elektrische geleidbaarheid wordt veroorzaakt door de aanwezigheid van ionen. Meerwaardige ionen kunnen via coagulatie-flocculatie-sedimentatie/filtratie vaak worden verwijderd of door middel van nanofiltratie of omgekeerde osmose. Voor de verwijdering van eenwaardige ionen is uitsluitend RO effectief [5]. Bij toepassing van ionenwisseling zal het geleidingsvermogen alleen afnemen indien de wisselaar met zuur of loog wordt geregenereerd. Bij regeneratie met NaCl wordt het verwijderde ion vervangen door een tegenion (bijvoorbeeld calcium vervangen door natrium). In dat geval zal de geleidbaarheid niet afnemen [5].

Referenties

- [1] <https://aquainfo.nl/de-elektrische-geleidbaarheid-van-water/>
- [2] https://www.watertool.be/interface/Pagina_Opfragen.aspx?parameterID=12
- [3] <https://www.lenntech.nl/calculatoren/tds/tds-ec.htm>
- [4] van Dijk-Looijaard, A.M. (1993). Herziening Normen Waterleidingbesluit, rapport SWO 93.340, KIWA Onderzoek en Advies, Nieuwegein.
- [5] Moel, P.J. de, Dijk, J.C. van, Verberk, J.Q.J.C. (2006) Drinkwater principes en praktijk ISBN 9789012109468

● Geneesmiddelen (humane geneesmiddelen)

Grondslag norm: signalering

Drinkwaterbesluit 2011 (overige antropogene stoffen): maximum waarde 1 µg/l:

WHO (gezondheid)

EG-Drinkwaterrichtlijn 1998: geen vermelding

RIVM: richtwaarde 1 µg/l tot 415 mg/l

Introductie

Tussen de vele organische microverontreinigingen die in oppervlaktewater voorkomen, bevinden zich ook geneesmiddelen en afbraakproducten daarvan. Ook worden deze wel medicijnresten genoemd. Het onderscheid wordt verder gemaakt voor humane geneesmiddelen (voor de mens) en veterinaire geneesmiddelen (voor dieren). De diergeneesmiddelen, antibioticaresistentie en contrastmiddelen kennen aparte factsheets in de Wegwijzer Waterkwaliteit. De herkomst, beoordelingskaders en emissieroutes verschillen ten opzichte van de diergeneesmiddelen. Voor drinkwater zijn de onderdelen 'Blootstellingsroutes', 'Gezondheidskundige betekenis', 'Normen en richtlijnen verklaard' en 'Zuivering' voor deze groepen stoffen grotendeels identiek.

De actieve stoffen in de humane geneesmiddelen zijn bijvoorbeeld toegepast in pijnstillers, medicijnen tegen hart- en vaatziekten (bètablokkers), hormoonpreparaten, cytostatica (behandeling tegen kanker) en in cholesterolverlagende middelen.

In de Europese wet- en regelgeving is vastgelegd dat uitsluitend toegelaten en geregistreerde geneesmiddelen mogen worden gebruikt. Deze registratie kan voor heel Europa centraal worden geregeld (door de zogeheten European Medicines Agency, EMA), maar dat kan ook decentraal per land gebeuren. In Nederland is het College ter Beoordeling van Geneesmiddelen (CBG) verantwoordelijk voor het beschikbare pakket aan geneesmiddelen [3].

In 2016 waren er als ingrediënt voor geneesmiddelen ongeveer 2.000 werkzame stoffen op de markt [1]. De beoordeling en toelating is doorgaans per geneesmiddel (per toepassing, vorm, dosis, et cetera) en niet per ingrediënt of actieve stof, terwijl dat laatste van belang is bij het beschouwen van de kwaliteit van drinkwater en bronnen voor drinkwater.

Herkomst

Het is lastig om bij het aantreffen van de stoffen de exacte herkomst aan te geven, omdat stoffen zowel in humane als diergeneesmiddelen worden toegepast. Hierbij is bijvoorbeeld te denken aan diverse antibiotica. Ook worden stoffen soms ook toegepast in andere kaders, zoals stoffen in anti-parasitaire geneesmiddelen ook worden gebruikt als bestrijdingsmiddel.

Humane geneesmiddelen kunnen via verschillende routes in het milieu terecht komen. Dit kan zijn door lozing in afvalwater van het productieproces en door uitscheiding via urine en feces. Ook het weggooien van medicijnen is een route. De hoeveelheden die worden geloosd tijdens de productie van geneesmiddelen worden op 1 – 5% van de totale productie geschat. De belangrijkste emissieroute vormt de uitscheiding van humane geneesmiddelen (of metabolieten hiervan) via urine en feces. De urine en feces worden via het rioolwater afgevoerd naar een RWZI, waar omzetting kan plaatsvinden. In Nederland wordt jaarlijks naar schatting minstens 140.000 kg aan resten geneesmiddelen via deze route op het oppervlaktewater geloosd. RWZI's zijn ontworpen om zwevende stof, opgeloste organische stof, stikstof en fosfaat uit water te verwijderen, maar dat geldt niet voor (resten van) geneesmiddelen. Sommige geneesmiddelen worden goed uit het afvalwater gezuiverd, maar voor andere middelen is dat vrijwel niet het geval [1].

De hoeveelheid geneesmiddelen is groter dan de hoeveelheid gewasbeschermingsmiddelen die in het oppervlaktewater terechtkomt (17.000 kg). Desondanks bestond lange tijd voor geneesmiddelen doorgaans minder aandacht [1]. Sinds 2018 is het 'Uitvoeringsprogramma Ketenaanpak medicijnresten uit water' gestart om de aanwezigheid van medicijnresten in het (drink)water te verminderen [5].

Blootstellingsroutes

De blootstelling aan geneesmiddelen via drinkwater is klein, want concentraties in drinkwater zijn erg laag en liggen ver beneden de gezondheidkundige risicogrenswaarden, inclusief veiligheidsmarges [1].

Gezondheidkundige betekenis

De actieve stoffen in geneesmiddelen zijn per definitie stoffen die invloed hebben op de gezondheid. Om die reden worden ze geproduceerd en gebruikt. Van geneesmiddelen is dus heel goed bekend wat het effect op de menselijke gezondheid is. Net als bij andere stoffen is dat effect niet alleen afhankelijk van de aard van de stof, maar ook van de dosis. Deze kan oplopen tot enkele grammen per dag. Wanneer de therapeutische dosis van geneesmiddelen (waar de stof een effect krijgt) wordt vergeleken met de concentraties die in drinkwater zijn aangetroffen, blijkt dat de marge tussen de therapeutische dosis en de concentratie in water erg groot is ($> 10^6$). Het is dan ook zeer onwaarschijnlijk dat gezondheidkundige effecten zullen optreden bij inname van drinkwater. Resultaten van onderzoek laten zien dat er zelfs een ruime marge bestaat tussen de afgeleide voorlopige gezondheidkundige grenswaarden (de concentratie waarbij geen enkel effect zal optreden) en de concentraties van in drinkwater aangetoonde geneesmiddelen [1, 3].

Normen en richtlijnen verklaard

De stoffen in deze groep vallen onder de zogenaamde overige antropogene stoffen uit het [Drinkwaterbesluit](#) en de [Drinkwaterregeling](#). Deze parameters (als groep) zijn bedoeld om de kwaliteit van de bron te bewaken en voor het signaleren van mogelijke verontreinigingen. Wanneer de signaleringsparameter van 1 µg/l wordt gemeten, is er geen risico voor de volksgezondheid en zal er nader onderzoek plaatsvinden.

In de [WHO-richtlijnen](#), het [Drinkwaterbesluit](#) en de [Europese Drinkwaterrichtlijn](#) worden momenteel geen expliciete grenswaarden of richtwaarden voor geneesmiddelen vermeld. In de discussie over de herziening van de [Europese Drinkwaterrichtlijn](#) is wel gesproken over het opnemen van hormoon-verstorende stoffen, waaronder β -oestradiol (CAS-nummer 50-28-2) met een maximale waarde van 0,001 µg/l [7].

Als aanvulling op de signaleringswaarde is voor een selectie van (vooral humane) geneesmiddelen indicatieve een drinkwaterrichtwaarde afgeleid. Dit is gebeurd voor bijvoorbeeld de stoffen carbamazepine, metoprolol en diclofenac, zie tabel 1 en de referenties [5] en [6]. Aangezien het afleiden van een dergelijke indicatieve gezondheidkundige grenswaarde een intensieve klus is en er regelmatig nieuwe geneesmiddelen worden toegelaten, is de afleiding van een dergelijke grenswaarde momenteel slechts voor enkele tientallen van de circa 2.000 toegelaten geneesmiddelen uitgevoerd [1].

Tabel 1 Overzicht van de voorgestelde indicatieve drinkwaterrichtwaarden voor een selectie van humane geneesmiddelen uit een lijst van in totaal 36 stoffen (overgenomen uit [6]).

#	Stofnaam	CAS	Indicatieve richtwaarde (µg/l)
21	Metoprolol	37350-58-6	9,8
22	Sotalol	3930-20-9	80
28	Diclofenac	15307-79-6	7,5
29	Metformine	657-24-9	196
30	Hydrochloorthiazide	58-93-5	6
31	Paroxetine	61869-08-7	5
32	Guany lureum	141-83-3	22,5
33	Carbamazepine		50
34	10,11-dihydro-10,11-dihydroxycarbamazepine	58955-93-4	50 (somwaarde met carbamazepine)
35	Gabapentine	60142-96-3	100

Aanwezigheid in drinkwater(bronnen) en monitoring

In de praktijk worden in Nederland tussen de 130 en 270 geneesmiddelen gemonitord in bronnen voor drinkwater en in drinkwater zelf. De analysemethoden worden steeds nauwkeuriger. Hierdoor kan de aanwezigheid van geneesmiddelen en andere stoffen in steeds lagere concentraties worden aangetoond [1]. Volgens de WHO is er geen noodzaak voor routinematige metingen van geneesmiddelen in drinkwater. Die organisatie acht het ook niet noodzakelijk om aanvullende of speciale zuiveringsstappen in te zetten om de concentraties van geneesmiddelen in drinkwater te verminderen [2].

In oppervlaktewater bij innamepunten voor drinkwater langs de Rijn en de Maas worden 270 stoffen uit geneesmiddelen gemeten. Niet alle middelen worden op alle locaties gemeten. In totaal zijn 84 stoffen uit geneesmiddelen minstens eenmaal gemeten boven de detectielimiet. De tienjarige gemiddelden van stoffen uit geneesmiddelen variëren van 0 – 0,94 µg/l (voor guany lureum, een omzettingsproduct van het geneesmiddel metformine).

In grondwater nabij winputten voor drinkwater worden 130 stoffen uit geneesmiddelen gemeten. In totaal 44 hiervan zijn minstens eenmaal gemeten met een waarde boven de detectielimiet. Geen van de stoffen overschrijdt de maximum waarde uit het [Drinkwaterbesluit](#).

In het drinkwater direct na de zuivering worden 172 geneesmiddelen gemeten. In totaal 17 daarvan kwamen in de afgelopen vijf jaar minstens eenmaal voor boven de detectiegrens. Alleen fenoterol (een middel tegen benauwdheid) overschreed in deze periode eenmaal de maximum waarde van 0,1 µg/l. Vermoedelijk ging het daarbij om een incident met onbekende oorzaak of een analysefout.

De concentratie aan geneesmiddelen in drinkwater is momenteel zodanig laag dat het drinkwater altijd veilig kan worden gedronken. In de toekomst kan de waterkwaliteit van de bronnen voor drinkwater door verschillende ontwikkelingen onder druk komen te staan [1]. Deze ontwikkelingen zijn vergrijzing (wat kan leiden tot een toenemend gebruik van medicijnen), een omslag naar medicijnen waarbij polaire persistente bioactieve afbraakproducten ontstaan en klimaatverandering (die kan leiden tot langdurige lage waterstanden en dus minder verdunning van medicijnconcentraties).

Zuivering

Om geneesmiddelen en andere microverontreinigingen (beter) uit water te verwijderen, zijn specifieke zuiveringstechnieken noodzakelijk [1]. Geneesmiddelen zijn vaak goed wateroplosbaar en daardoor lastig uit water te verwijderen. Met een eenvoudige zuivering bestaande uit [beluchtings](#)- en [filtratie](#)stappen die voor grondwater vaak volstaat, worden geneesmiddelen

nauwelijks of niet verwijderd [1, 4]. Modernere zuiveringsstappen als [actieve-koolfiltratie](#), [omgekeerde osmose](#) en [\(geavanceerde\) oxidatie](#) zijn doorgaans effectief voor de verwijdering en/of afbraak van geneesmiddelen en hun metabolieten. Bij [omgekeerde osmose](#) ontstaat er een geconcentreerde hoeveelheid water met relatief hoge concentraties microverontreinigingen, die op enige wijze verder moet worden verwerkt. Bij [oxidatie](#)processen kunnen omzettings- en bijproducten worden gevormd en daarom moet hierna meestal een filtratieproces (bijvoorbeeld [actieve-koolfiltratie](#)) volgen. Afhankelijk van de samenstelling van de geneesmiddelen kan ook uitsluitend [actieve-koolfiltratie](#) effectief zijn. Vanwege de regelmatige regeneratie van de actieve kool is dat een relatief kostbaar proces.

Sommige geneesmiddelen (zoals metformine en het afbraakproduct daarvan, guanyleureum) zijn zelfs met geavanceerde zuiveringstechnieken moeilijk uit het water te verwijderen. Deze stoffen hebben in de concentraties waarin ze voorkomen in drinkwater echter geen invloed op de gezondheid.

Aanvullende informatie

Het RIVM heeft een website met meer informatie over 'geneesmiddelen in het milieu', zie <https://www.rivm.nl/geneesmiddelen-in-milieu>.

Over diergeneesmiddelen staat informatie op de RIVM-website risico van stoffen: zie <https://rvs.rivm.nl/stoffen-en-producten/diergeneesmiddelen>.

Het College ter Beoordeling van Geneesmiddelen (CBG) biedt informatie aan over de toegelaten middelen en stoffen in Nederland via <https://www.diergeneesmiddeleninformatiebank.nl/nl/>

Referenties

- [1] Moermond, C.T.A., Smit, C.E., Leerdam, R.C., Aa, N.G.F.M. van der, Montforts, M.H.M.M. (2016): 'Geneesmiddelen en waterkwaliteit', RIVM Briefrapport 2016-0111, RIVM, Bilthoven. <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2016-0111.pdf> (zie ook <https://www.rivm.nl/publicaties/geneesmiddelen-en-waterkwaliteit>)
- [2] World Health Organization (2017): 'Guidelines for drinking-water quality; Fourth edition incorporating the first addendum', ISBN 978-92-4-154995-0, Geneva. <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/254637/9789241549950-eng.pdf;jsessionid=2664217407E6F72C0DD4BA2B94E7D61B?sequence=1>
- [3] Derksen, A., en Laak, T. ter (2013): 'Humane geneesmiddelen in de waterketen', rapport STOWA 2013-06, Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer, Amersfoort. <https://www.stowa.nl/sites/default/files/assets/PUBLICATIES/Publicaties%202013/STOWA%202013-06.pdf> (zie ook <https://www.stowa.nl/publicaties/humane-geneesmiddelen-de-waterketen>)
- [4] Hofman-Caris, R., and Hofman, J. (2017): 'Limitations of Conventional Drinking Water Technologies in Pollutant Removal', Handbook of Environmental Chemistry, volume 67, pages 21 – 51. https://link.springer.com/chapter/10.1007/698_2017_83
- [5] Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat en Ministerie van Volksgezondheid, Welzijn en Sport (2019): 'Ketenaanpak Medicijnresten uit Water; Uitvoeringsprogramma 2018 – 2022'. <https://www.rijksoverheid.nl/binaries/rijksoverheid/documenten/beleidsnotas/2019/02/12/ketenaanpak-medicijnresten-uit-water/NL+Uitvoeringsprogramma+ketenaanpak+medicijnresten.pdf> (zie ook <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/beleidsnotas/2019/02/12/ketenaanpak-medicijnresten-uit-water>)
- [6] RIVM (2019): 'Beleidsmatig vaststellen 36 drinkwaterrichtwaarden', memo, RIVM, Bilthoven. https://rvs.rivm.nl/sites/default/files/2019-04/SG2019-03%20Memo%20vaststellen%20drinkwaternormen%20voor%2036%20stoffen_aangepast%20190321.pdf



[7] Europese Unie (2018): 'Voorstel tot de herziening van de Drinkwaterrichtlijn', Proposal for a DIRECTIVE OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL on the quality of water intended for human consumption (recast), Brussel.

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1519210589057&uri=CELEX:52017PC0753>

● Geur, smaak en kleur

Grondslag norm: indicatoren – esthetisch/organoleptisch

Geur en smaak

Drinkwaterbesluit 2011: aanvaardbaar voor de consument en geen abnormale veranderingen

WHO: acceptabel (niet ingevuld)

EG-Drinkwaterrichtlijn 1998: aanvaardbaar voor de consument en geen abnormale veranderingen

Kleur

Drinkwaterbesluit 2011: maximum waarde 20 mg/l Pt/Co

WHO: acceptabel (niet ingevuld)

EG-Drinkwaterrichtlijn 1998: aanvaardbaar voor de consument en geen abnormale veranderingen

Introductie

Naast troebelings zijn geur, smaak en kleur esthetische parameters die in hoge mate de aanvaardbaarheid van de drinkwaterkwaliteit voor de consument bepalen. Het zijn factoren (naast troebelings en hardheid) die consumenten direct waarnemen.

Kleur wordt vastgesteld door watermonsters te vergelijken met een standaardreeks met een steeds hogere concentratie 'Pt/Co', een mengsel van platina en kobalt. Een concentratie van 1 mg/l Pt/Co komt overeen met 1 TCU, een 'true color unit'. In een glas kunnen de meeste mensen een kleurverandering van 15 TCU vaststellen; in een wit bad is dat 5 TCU.

In het laboratorium worden geur en smaak bepaald via een panel. Drinkwater wordt veelvuldig getoetst op beide parameters in zowel het laboratorium alsook door de monsternemer bij het nemen van monsters bij mensen thuis. Van het ruwe water wordt meestal uitsluitend de geur bepaald.

Herkomst

De geur en smaak van drinkwater kunnen worden beïnvloed door natuurlijke processen of door menselijke activiteiten. Van natuurlijke oorsprong zijn stoffen die door bacteriën, schimmels en algen worden geproduceerd [2]. Sommigen daarvan kunnen het water al in zeer lage concentraties (5 ng/l) een muffgronderige geur of smaak geven, bijvoorbeeld geosmine en 4-methylisoborneol (MIB) die worden geproduceerd door cyanobacteriën. Andere microbiële producten kunnen ook in geringe hoeveelheden zorgen voor een bittere, muffe of olieachtige geur of smaak. De processen waarbij dergelijke stoffen worden gevormd, kunnen zowel in het (drink)water in de bron, in reservoirs en in het leidingnet optreden. Hoge watertemperaturen bevorderen de groei van micro-organismen en dit kan problemen met smaak, geur, kleur vergroten [1].

Verandering van kleur en smaak kan eveneens worden veroorzaakt door de aanwezigheid van natuurlijke humus- en fulvinezuren uit de bodem, maar ook door metalen zoals ijzer en mangaan. Ook gekleurde industriële verbindingen (voornamelijk van papier-, pulp- en textielindustrie) of andere stoffen kunnen van invloed zijn op de kleur van het water.

Bij desinfectie met chloor kunnen stoffen ontstaan die de geur en smaak beïnvloeden. In Nederland wordt chloor normaliter niet meer ingezet voor desinfectie, behalve bij calamiteiten en zo nodig na onderhoudswerkzaamheden.

Geur, smaak en kleur van water kunnen ook worden beïnvloed door chemicaliën en materialen die worden gebruikt bij de bereiding, opslag en distributie van drinkwater. De materialen die in contact komen met leidingwater worden daarom uitgebreid op dergelijke aspecten getest. Het gebruik van veilige leidingmaterialen is noodzakelijk voor een betrouwbare drinkwatervoorziening. Leidingmaterialen en waterbehandelingschemicaliën die over een 'Kiwa Water Mark' als 'erkende kwaliteitsverklaring' volgens de ministeriële [Regeling materialen en chemicaliën drink- en warm tapwatervoorziening](#) beschikken, zijn veilig.

Blootstellingsroutes

De stoffen die geur, smaak en kleur van water beïnvloeden, doen dat meestal in zeer lage concentraties. Zo kan diacetonglucose (een afbraakproduct van bacteriën dat water een bittere smaak geeft) al worden waargenomen in een concentratie van 15 ng/l. Voor de stof geosmine is dat zelfs al bij een concentratie van 5 ng/l. De blootstelling aan dit soort stoffen is meestal incidenteel. Zo gauw er klachten komen, zal het drinkwaterbedrijf dit onderzoeken en zo nodig stappen nemen om geur, smaak en kleur van het drinkwater weer op orde te brengen.

Gezondheidskundige betekenis

Kleur, geur en smaak kunnen door veel verschillende stoffen worden veroorzaakt. Geur van drinkwater kan indicatief zijn voor verontreiniging van het water of een teken zijn dat er iets niet goed functioneert bij de bereiding of distributie van drinkwater. Dit hoeft echter niet automatisch te betekenen dat er ook een gezondheidsrisico is. In het algemeen zijn de concentraties van stoffen die kleur, geur of smaak beïnvloeden zo laag dat het risico voor de gezondheid verwaarloosbaar is [1].

Humusachtige verbindingen bijvoorbeeld zijn meestal op zich niet schadelijk voor de gezondheid, maar worden verwijderd om esthetische redenen, om de vorming van bepaalde gezondheidsschadelijke stoffen bij de desinfectie van water te verminderen en om de efficiëntie van de desinfectie te vergroten. Ook metalen geadsorbeerd aan humus- en fulvinezuren worden verwijderd bij kleurverlaging.

Normen en richtlijnen verklaard

De [Europese Drinkwaterrichtlijn](#) geeft aan dat kleur, geur en smaak van het water acceptabel moeten zijn en geen abnormale veranderingen mogen ondergaan.

In het [Drinkwaterbesluit](#) is de norm uit de [Europese Drinkwaterrichtlijn](#) overgenomen: kleur, geur en smaak moeten acceptabel zijn voor de consument en mogen geen abnormale veranderingen ondergaan.

Omdat de concentraties die in drinkwater voorkomen geen gezondheidskundige gevolgen hebben, heeft de WHO geen richtlijn opgesteld voor kleur, geur en smaak. Wel wordt opgemerkt dat geur en smaak niet onaangenaam mogen zijn, maar daarbij wordt al aangegeven dat er een enorme variatie is in wat acceptabel wordt bevonden. Ook geeft de WHO aan dat boven een niveau van 15 TCU kleur waarneembaar kan zijn voor de consument.

Aanwezigheid in drinkwater(bronnen) en monitoring

De kwaliteitseis voor de kleurintensiteit van oppervlaktewater dat is bestemd voor de bereiding van drinkwater bedraagt 50 mg/l. Voor geur is die eis 'geen abnormale verandering'. De Nederlandse drinkwaterbedrijven moeten de parameters kleur en geur bepalen in het ruwe water en niet in de drinkwaterbronnen. Beide parameters en ook smaak moeten worden bepaald in het drinkwater aan het tappunt.

De kleur van het Nederlandse drinkwater is gemiddeld 3,7 mg/l Pt/Co. In 0,5% van de meetlocaties in het leidingnet overschreed de waarde de grenswaarde volgens het [Drinkwaterbesluit](#) minstens eenmaal ([REWAB](#)).

Zuivering

Stoffen en/of organismen van natuurlijke herkomst die bijdragen aan de geur, smaak en kleur van drinkwater worden aan het begin van de zuivering meestal al voor een groot deel verwijderd. Ook door middel van [actieve-koolfiltratie](#) kunnen die zo nodig goed worden verwijderd.

Voor grondwaterzuivering is dat een vrij omvangrijke zuiveringsstap die de nodige investering kost. Vaak wordt het probleem van geur en smaak tegelijk aangepakt met problemen zoals hardheid, nitraat of bestrijdingsmiddelen. Vluchtige geur- en smaakstoffen kunnen worden verwijderd met behulp van [beluchting](#). Kleur kan ook worden verwijderd door middel van [vlokvorming](#) en [sedimentatie](#). [Ionenuisselaars](#) en ook [membraanfiltratie](#) zijn eveneens zeer geschikt voor de verwijdering van kleur (humuszuren).

Zoals hierboven aangegeven kan bij calamiteiten desinfectie met chloor worden ingezet, waarmee stoffen kunnen ontstaan die de geur en smaak beïnvloeden. In Nederland mag chloor onder normale omstandigheden niet worden toegepast.

Referenties

[1] WHO Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first addendum. Geneva: World Health Organization; 2017. Licence: CC BY-NC-SA 3.0.

<https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/254637/9789241549950-eng.pdf;jsessionid=2664217407E6F72C0DD4BA2B94E7D61B?sequence=1>

[2] Ketelaars, H.A.M. (1994): 'Ursachen von Geruchs- und Geschmackproblemen in der Trinkwasserversorgung und ihre Lösung: Eine Übersicht', in: Ketelaars, Nienhüser & Hoehn (red.): 'Die Biologie der Trinkwasserversorgung aus Talsperren', ATT Information, Academic Book Centre, De Lier, pagina 133 – 153.

● Hardheid (totaal): calcium en magnesium

Grondslag norm: bedrijfstechnisch

Drinkwaterbesluit 2011: minimum waarde hardheid (totaal) 1 mmol/l (Ca^{2+} plus Mg^{2+}) als 90 percentiel, bij toepassing ontharding/ontzouting

WHO: geen vermelding

EG-Drinkwaterrichtlijn 1998: geen vermelding

Introductie

Calcium (Ca) en magnesium (Mg) bepalen de totale hardheid van het drinkwater. Hoe meer calcium en magnesium in de bronnen voor drinkwater voorkomen, des te harder het water is. Hard water heeft een aantal hinderlijke gevolgen. Het kan leiden tot een hoog kalk-afzettend vermogen van drinkwater, wat een hoger energieverbruik veroorzaakt in huishoudelijke apparaten en bijvoorbeeld de CV-installatie. Bij bad en douche en de aanvoerleidingen voor warmwater kan het leiden tot hinderlijke kalkafzettingen en verstoppingen. Ook moet bij hard water relatief meer was- en afwasmiddel worden gebruikt voor een schone was of vaat. De drinkwaterbedrijven ontharden (zeer) hard water in veel gevallen vanwege bovengenoemde nadelen.

De hardheid van het drinkwater wordt ook wel uitgedrukt in zogeheten Duitse graden ($^{\circ}\text{DH}$) met een schaal vanaf 0 en de volgende indeling:

Hardheid in Duitse graden ($^{\circ}\text{DH}$)	Hardheid in mmol/l	Hardheidskwalificatie
0 tot 4	0 tot 0,71	zeer zacht water
4 tot 8	0,71 tot 1,43	zacht water
8 tot 12	1,43 tot 2,14	gemiddeld
12 tot 18	2,14 tot 3,21	vrij hard water
18 tot 30	3,21 tot 5,35	hard water
> 30	> 5,35	zeer hard water

Herkomst

Calcium en magnesium komen overal voor in het milieu en zijn afkomstig van een aantal steensoorten. De meest voorkomende vormen in de bodem zijn kalk (mergel) en krijt, maar ook zijn er geologische afzettingen van gips en klei waarin calcium aanwezig is. De stoffen zijn ook aanwezig in veel industriële producten en bestanddelen van voedsel.

Het gehalte aan calcium en magnesium in grond- en oppervlaktewater varieert sterk, omdat het afhankelijk is van de samenstelling van de bodem. Het gehalte aan calcium in grondwater varieert van minder dan 30 tot 200 mg/l. In oppervlaktewater is dat gemiddeld tussen de 60 en 90 mg/l. Het gehalte aan magnesium in grondwater varieert van minder dan 4 tot 20 mg/l. In oppervlaktewater is dat gemiddeld tussen 8 en 11 mg/l.

Blootstellingsroutes

Meer dan 80% van de totale dagelijkse inname van calcium en magnesium wordt toegeschreven aan voedsel. Vooral zuivelproducten zijn rijk aan calcium, terwijl magnesium meer aanwezig is in vlees en diverse plantaardige producten. Het Voedingscentrum en de Gezondheidsraad adviseren een dagelijkse inname van calcium tussen de 450 (kinderen tot 11 maanden) en 1.200 mg (ouderen > 70 jaar) [6, 7]. De bijdrage van drinkwater aan de totale dagelijkse inname varieert tussen 5 en 20% (bij een consumptie van 2 l en is afhankelijk van de hardheid van het drinkwater).

Gezondheidkundige betekenis

Calcium en magnesium zijn mineralen die iedereen nodig heeft [6,7]. Beide stoffen zijn van belang voor de opbouw van het botweefsel. Hardheid is in het verleden in verband gebracht met het vóórkomen van hart- en vaatziekten [2, 3]. Volgens de WHO is er geen overtuigend bewijs geleverd dat de hardheid van drinkwater schadelijke gezondheidseffecten veroorzaakt, zodat de WHO geen richtlijn geeft, ook geen ondergrens. Wel constateert die organisatie dat drinkwater een belangrijke bron van calcium en magnesium kan zijn voor mensen die dat niet op een andere manier binnenkrijgen [1]. In Nederland bevat het dagelijkse dieet bij een gemiddeld voedingspatroon voldoende calcium en magnesium.

Normen en richtlijnen verklaard

De WHO geeft geen richtlijn voor calcium en magnesium, omdat wetenschappelijke studies uitwijzen dat deze mineralen geen schadelijke effecten voor de gezondheid hebben. Het [Drinkwaterbesluit](#) noemt wel een ondergrens voor de hardheid van drinkwater, die uitsluitend geldt als het ruwe water wordt onthard of ontzout. De ondergrens is opgenomen, omdat té zacht water door de lage zuurgraad leidt tot het gemakkelijker oplossen van metalen, zoals lood, koper en zink uit leidingen, kranen, ventielen, afsluiters en meettoestellen [1]. Deze metalen kunnen slecht zijn voor de gezondheid, waardoor moet worden voorkomen dat de concentraties in drinkwater toenemen.

Voor drinkwater dat van nature heel zacht is zoals op de Veluwe, geldt de minimale concentratie niet. Het water hoeft in dat geval niet te worden opgehard, hoewel dat in de praktijk vaak wel gebeurt om de afgifte van metalen en corrosie van leidingmaterialen te voorkómen.

Aanwezigheid in drinkwater(bronnen) en monitoring

De hardheid moet door de Nederlandse drinkwaterbedrijven worden gemeten in het ruwe water en aan het tappunt.

De meetwaarde in 2016 ligt over de verschillende oppervlaktelocaties over het algemeen rond de 205 mg/l aan calciumcarbonaat. Deze waarde is constant in de acht jaar daarvoor. In 2016 is de minimale waarde gemiddeld over de locaties rond de 167 mg/l, en de maximale waarde gemiddeld 246 mg/l (data van RIWA).

In grondwater is de gemiddelde meetwaarde 1,8 mmol/l (data van 2018 uit REWAB). Deze waarde is constant in de afgelopen tien jaar. In 2018 is de minimale waarde 1,6 mmol/l en de maximale waarde 1,9 mmol/l.

De gemiddelde meetwaarde in 2018 in drinkwater is 1,4 mmol/l (data REWAB). Deze waarde is constant in de afgelopen vijf jaar. In 2018 is de minimale waarde 1,3 mmol/l en de maximale waarde 1,6 mmol/l.

Zuivering

Metalen uit drinkwaterleidingen zoals koper en lood, lossen vaak beter op in water met een lagere zuurgraad. Hierdoor zou het mogelijk kunnen zijn dat de daarvoor geldende maximum waarden in drinkwater worden overschreden.

In het begin van de zeventiger jaren van de vorige eeuw is een begin gemaakt met grootschalige centrale ontharding door het Waterwinningbedrijf Brabantse Biesbosch. Sinds 1973 wordt het water in het laatste van de drie spaarbekkens van het bedrijf onthard. In de eerste jaren gebeurde dat met natronloog en daarna met calciumhydroxide (kalkmelk) [5].

Inmiddels zijn de meeste Nederlandse zuiveringen die hard water als bron hebben, uitgerust met een onthardingsstap. Bij een aantal zuiveringen wordt onthard door het doseren van kalkmelk in een bekken, maar op de meeste plaatsen vindt centrale ontharding plaats door middel van het toevoegen van kalkmelk of natronloog aan het water in een zogeheten pelletreactor. Door de dosering van een van die chemicaliën vormt zich kalkneerslag op de aan de reactor toegevoegde korrels van entzand. De korrels groeien tot ze ongeveer 1 mm groot zijn en worden dan afgetapt. Ze kunnen vervolgens in de industrie worden toegepast, zoals de tapijtindustrie. Door het toepassen van kalkkorrels als 'entmateriaal' in pelletreactoren ontstaan korrels van 100% kalk.

Deze korrels maken hoogwaardigere toepassingen mogelijk dan de korrels met een zandkern, zoals in de glasindustrie.

Een andere methode van ontharding is **membraanfiltratie** zoals **nanofiltratie** of **omgekeerde osmose** (RO). In het geval door ontharding de hardheid te laag wordt, moet het water weer worden 'opgehard', door bijvoorbeeld filtratie over marmerkorrels of door het water te mengen met water met een hogere hardheid. Dat laatste kan door de membranen in te zetten als een deelstroombehandeling. Ook de pH-waarde wordt gecorrigeerd ('conditionering') om ervoor te zorgen dat het koper- en lood oplossend vermogen van leidingmaterialen afneemt.

Voor de consumenten zijn verschillende soorten wateronthardingsinstallaties te koop (waaronder ionenwisselaars) om desgewenst het water thuis zachter te maken [8].

Referenties

[1] World Health Organization (2017): 'Guidelines for drinking-water quality; Fourth edition incorporating the first addendum', ISBN 978-92-4-154995-0, Geneva.

<https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/254637/9789241549950-eng.pdf;jsessionid=2664217407E6F72C0DD4BA2B94E7D61B?sequence=1>

[2] Veerdonk, C. van der, Hoek, J.P. van der, Groenendijk, M., Nederlof, M., en Mons, M. (2007): 'Reactie drinkwatersector op WHO discussie over mineralen', H2O, nummer 14/15, pagina 14 – 15.

<https://edepot.wur.nl/343171>

[3] Leurs, L.J., Schouten, L.J., Mons, M.N., Goldbohm, R.A., and Brandt, P.A. van den (2010): 'Relationship between Tap Water Hardness, Magnesium and Calcium Concentration and Mortality due to Ischemic Heart Disease or Stroke in the Netherlands', Environmental Health Perspectives, 118 (3), pages 414 – 420.

https://www.google.nl/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKewiT9ZOtn_sAhVD3aQKHdTIBRkQFjADegQIBBAC&url=https%3A%2F%2Fwww.researchgate.net%2Fpublication%2F40907387_Relationship_between_Tap_Water_Hardness_Magnesium_and_Calcium_Concentration_and_Mortality_due_to_Ischemic_Heart_Disease_or_Stroke_in_the_Netherlands&usg=AOvVaw2DgV_ZT_yEqYquqk-bCjNW

[4] WHO (2005): 'Nutrients in Drinking Water', Water, Sanitation and Health Protection and the Human Environment, WHO, Geneva.

https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/43403/9241593989_eng.pdf;jsessionid=662721EE6EC290069B5D112827E007C4?sequence=1

[5] Dits, J.S. (1995): 'Raw water softening in the Biesbosch reservoirs', Journal *Aqua*, volume 44, supplement 1, pages 92 – 96.

<https://library.wur.nl/WebQuery/hydrotheek/875780>

[6] Voedingcentrum (2020): 'Voedingadvies: Calcium'.

<https://www.voedingcentrum.nl/encyclopedie/calcium.aspx>

[7] Gezondheidsraad (2018): 'Voedingsnormen voor vitamines en mineralen voor volwassenen'.

<https://www.gezondheidsraad.nl/documenten/adviezen/2018/09/18/gezondheidsraad-herziet-voedingsnormen-voor-volwassenen>

[8] <https://www.drinkwaterplatform.nl/5-vragen-hard-water/>

● Hormoonverstorende stoffen

Grondslag norm: indicator

Drinkwaterbesluit 2011 (overige antropogene stoffen): maximum waarde = 1 µg/l

WHO: geen richtwaarde

EG-Drinkwaterrichtlijn 1998: geen parameterwaarde

Introductie

Hormoonverstorende stoffen zijn stoffen die de door hormonen geregelde processen ontregelen. De Engelse term hiervoor is 'endocrine disrupting chemicals' (EDC's) of kortweg 'endocrine disruptors'.

Hormonen zijn signaalstoffen die door het lichaam in klieren worden gemaakt en al in zeer lage concentraties effectief zijn. Hormonen hebben een regelfunctie in het lichaam en maken deel uit van min of meer complexe regelsystemen. Bij de werking van de meeste lichaamsfuncties spelen hormonen een zeer belangrijke rol, zoals de spijsvertering, slapen, plassen, voortplanting, embryonale ontwikkeling, vochtregulatie, bloedsuikergehalte, et cetera. Hormonen geven signalen aan het orgaan en het orgaan geeft seintjes terug. Door deze seintjes wordt de aanmaak van het hormoon geregeld. Zo blijft het evenwicht in orde [1].

Een hormoonverstorende stof kan deze evenwichten in de war brengen. Zowel natuurlijke stoffen als door de mens gemaakte stoffen kunnen hormoonverstorend werken. Sommige van deze stoffen maken en gebruiken we doelbewust, bijvoorbeeld in medicijnen. 'De pil' verstoort de hormonen van de eisprong, zodat je tijdelijk niet zwanger kunt worden. Daarom slikken veel vrouwen de pil en dat is dus een gewenste verstoring van het evenwicht. Andere stoffen worden niet speciaal gemaakt om het hormonale evenwicht te verstoren, maar kunnen wel die werking hebben. De meeste stoffen die worden verdacht van hormoonverstoring hebben een veel minder sterke werking dan onze eigen hormonen.

In principe zijn er twee groepen stoffen die effecten kunnen hebben op de hormoonhuishouding. Aan de ene kant zijn dit chemicaliën die hormonen nabootsen of echt hormonen zijn (zoals aanwezig in de anticonceptiepil, groeihormonen en diergeneesmiddelen) en aan de andere kant chemicaliën die de hormoonhuishouding verstoren.

Het inzicht welke stoffen (mogelijk) hormoonverstorend zijn, wordt door onder andere RIVM en de EU in de gaten gehouden en deze stellen regelmatig stoflijsten op. Zo noemt het RIVM de stofgroepen Parabenen, Ftalaten, en Bisfenolen [1]. De Europese Commissie heeft een (voorlopige) lijst met zestig hormoonverstorende stoffen opgesteld met een potentieel risico voor de menselijke gezondheid of het milieu [6]. Van sommige stoffen is het duidelijk dat ze een hormoonverstorende werking hebben, maar voor andere stoffen is dit niet eenduidig te voorspellen.

Herkomst

Via bijvoorbeeld huishoudelijk afvalwater en RWZI's kunnen medicijnen of hormonen in grond- en oppervlaktewater terechtkomen. Humane en veterinaire geneesmiddelen kennen aparte factsheets in de Wegwijzer Waterkwaliteit. Via RWZI's en bij industriële activiteiten kunnen stoffen met een hormoonverstorende werking vrijkomen. Een andere route waarbij hormoonverstorende stoffen in het milieu terecht kunnen komen, is via mest of het toepassen van bestrijdingsmiddelen [4].

Blootstellingsroutes

Mogelijke bronnen van blootstelling aan hormoonverstorende stoffen zijn voedsel, verontreinigd grond- of oppervlaktewater, uitlaatgassen uit verbrandingsmotoren (van bijvoorbeeld auto's) en consumentenproducten [5]. In voeding (melkproducten) kunnen vele natuurlijke hormonen aanwezig zijn. Ook in sommige groenten (spinazie, sojabonen, et cetera) komen van nature hormonen voor. De blootstelling aan hormoonverstorende stoffen in bestrijdingsmiddelen en stoffen zoals PCB's en PAK's is voor het overgrote deel afkomstig uit voeding en lucht.

Gezondheidskundige betekenis

Sommige groepen zoals ongeboren kinderen, zwangere vrouwen, vrouwen die borstvoeding geven of mensen ouder dan vijfenzeftig jaar zijn gevoeliger voor hormoonverstorende effecten, omdat bij deze groepen de fysiologische processen sowieso veranderen [4] en een verstoord evenwicht niet gemakkelijk kan worden hersteld. Volwassenen kunnen schommelingen in deze evenwichten beter aan zonder schadelijke gevolgen voor de gezondheid.[1].

De hoeveelheid hormoonverstorende stof die mensen binnen krijgen, bepaalt of die stof een schadelijk effect kan veroorzaken. De meeste stoffen die worden verdacht van hormoonverstoring hebben een veel minder sterke werking dan onze eigen hormonen [1, 5]. Voor zover nu bekend is, krijgt een mens bij normaal gebruik van voedsel en gebruiksartikelen niet te veel hormoonverstorende stoffen binnen. Nog niet alles over hormoonverstoring en hormoonverstorende stoffen is echter bekend. Het onderzoek daarnaar gaat nog steeds door en de opbrengsten daarvan moeten meer duidelijkheid gaan geven [1, 4].

Enkele gezondheidseffecten die in verband worden gebracht met hormoonverstoring betreffen onvruchtbaarheid, aangeboren afwijkingen, neurologische effecten, gedragsveranderingen, effecten op het immuunsysteem, verslechtering van de kwaliteit en kwantiteit van sperma en toename van verschillende vormen van kanker [4, 5]. Het is niet duidelijk of al deze effecten ook echt door hormoonverstorende stoffen worden veroorzaakt [1, 5]. Bij het ontstaan van ziekte spelen namelijk diverse factoren een rol. Zo hebben erfelijke aanleg, leefstijl en voedsel belangrijke invloed op de gezondheid en het ontstaan van deze ziekten. Veel ziektegevallen ontstaan door invloeden van combinaties van verschillende factoren [1]. De waargenomen gezondheidstrends zijn wel voldoende om bezorgd te zijn over de mogelijke rol van hormoonverstorende stoffen daarin, zodat verder onderzoek op dit gebied wenselijk is [5].

Normen en richtlijnen verklaard

De maximum waarde geldt voor hormoonverstorende stoffen, die geen eigen grenswaarde hebben.

Voor een deel van de meer bekende hormoonverstorende stoffen zoals PCB's, PAK's, bestrijdingsmiddelen (bijvoorbeeld atrazine en endosulfan) [2] en lood bestaan wel grenswaarden voor oppervlakte-, grond- en drinkwater. Deze normen zijn echter niet toegekend vanwege de hormoonverstorende effecten van de stoffen, maar om toxicologische of esthetische redenen. De grenswaarden zijn beschermend tegen alle bekende gezondheidscundige effecten van de stoffen. In het [Drinkwaterbesluit](#) staan maximum waarden van 0,1 µg/l (som van PAK's, individuele PCB's) tot 10 µg/l (lood). De WHO leidde een gezondheidscundige richtwaarde af van 100 µg/l voor atrazine. In Nederland is de grenswaarde voor dit pesticide 0,1 µg/l.

In het voorstel voor herziening van de [Europese Drinkwaterrichtlijn](#) is gesproken over het opnemen van hormoonverstorende stoffen, waaronder diverse stoffen als nonylfenol (0,3 µg/l), bisfenol A (0,01 µg/l en β-oestradiol met een maximale waarde van 0,001 µg/l [7].

De Europese Unie heeft verder voor regelgeving gezorgd die is gericht op het uitfasen van hormoonverstorende stoffen in water, gebruik in industrie en de toepassing als bestrijdingsmiddel [1, 3]. In [REACH](#) staan hormoonverstorende stoffen op gelijke hoogte met zeer zorgwekkende stoffen en worden ze op die manier beperkt [3]. Een aantal hormoonverstorende stoffen is opgenomen in de lijst [Zeer Zorgwekkende Stoffen](#) (ZZS). Volgens een aantal Europese Richtlijnen

(zoals voor bestrijdingsmiddelen) moeten hormoonverstoorders worden geweerd. Zodra is vastgesteld dat een stof hormoonverstorend is, mag die stof niet meer worden gebruikt [1].

Het meten van de stoffen wordt ook aangevuld met effectmetingen, zogenaamde bioassays. Deze metingen geven inzicht in de activiteit, de effecten van de stoffen. Het effect wordt afgemeten aan de activiteit van een referentiestof, zoals estradiol voor oestrogene effecten. In drinkwater wordt projectmatig onderzoek gedaan naar deze activiteiten, zoals in het BTO- en DPWE-onderzoeksprogramma [8, 9, 10].

In het meetprogramma van RIWA Rijn en Maas zijn sinds een aantal jaren zogenaamde CALUX-testen (CALUX staat voor 'Chemically Activated LUciferase eXpression'; bron: BioDetection Systems) opgenomen [11, 12]. Vanaf 2018 is een aparte parametergroep voor effectmetingen aangemaakt in de RIWA-database [11]. Voor het duiden en schalen van de effecten worden de zogenaamde 'trigger values' als streefwaarden aangehouden voor oppervlaktewater waaruit drinkwater wordt bereid [11, 12]. Voorbeelden zijn:

- **ER-CALUX**
Een test voor effecten op de oestrogene receptor ('vrouwelijke hormonen'). Deze wordt uitgedrukt als activiteit ten opzichte van 17- β -estradiol.
- **AR-CALUX-activiteit**
Een test voor de effecten op de androgene receptor ('mannelijke hormonen'). Deze wordt uitgedrukt als activiteit ten opzichte van dihydrotestosteron.
- **GR-CALUX-activiteit**
Een test voor de verstoring van effecten op de glucocorticoïde hormoonhuishouding, de regulatie van glucose metabolisme ('bijnierschors hormonen'). Deze wordt uitgedrukt als activiteit ten opzichte van dexamethasone.
- **PR-CALUX-activiteit**
Een test voor de verstoring van effecten op de progesteron hormoonhuishouding. Deze wordt uitgedrukt als activiteit ten opzichte van progesteron.
- **TR-CALUX-activiteit**
Een test voor de verstoring van effecten op de schildklier hormoonhuishouding ('Thyroid receptor-mediated signaling'). Deze wordt uitgedrukt als activiteit ten opzichte van triiodothyronine (T3).
- **NRF2-CALUX**
Geeft de oxidatieve stress respons weer en wordt uitgedrukt als activiteit ten opzichte van curcumine.

Aanwezigheid in drinkwater(bronnen) en monitoring

Hormoonverstorende stoffen komen voor in de bronnen voor drinkwater. In oppervlaktewater overschreden zeven van de zestien gerapporteerde hormoonverstorende stoffen zeer incidenteel in een jaar de maximum waarde van 1 $\mu\text{g/l}$. De stof bis(2-ethylhexyl)ftalaat (DEHP) overschreed deze grenswaarde op sommige locaties structureel. De gemiddelde concentraties liggen voor de meeste stoffen beneden de detectiegrens en de hoogste tienjarig gemiddelde concentratie was 0,028 $\mu\text{g/l}$ (triamcinolone hexacetonide, THA) ([RIWA](#)).

In grondwater worden de concentraties van hormoonverstorende stoffen meestal niet boven de detectiegrens aangetroffen. In 2018 (maar daarvoor niet) waren gemiddelde concentraties voor vier van deze stoffen hoger dan de detectiegrens: van 0,017 $\mu\text{g/l}$ (di-isobutylftalaat, DIBP) tot 0,004 $\mu\text{g/l}$ (diethylftalaat, DEP). De maximum waarde van 1 $\mu\text{g/l}$ werd op geen van de meetlocaties overschreden ([REWAB](#)).

Over 18 hormoonverstorende stoffen wordt gerapporteerd in het drinkwater direct na de zuivering. Uitsluitend in 2018 komt het jaargemiddelde voor de stof diethylftalaat met een waarde van 0,005 $\mu\text{g/l}$ boven de detectiegrens.

De CALUX of andere testen als maat voor de effecten van de stoffen in drinkwater en bronnen wordt nog niet op grote schaal in monitoring toegepast. Wel zijn enkele meerjarige en regelmatige

metingen in kader van de RIWA-monitoring toegepast, waaronder de ER-CALUX, GR-CALUX, AR-anti-CALUX en NRF2-CALUX.

Zuivering

Voor de verwijdering van hormoonverstorende stoffen tijdens de bereiding van drinkwater gelden in feite dezelfde overwegingen als voor gewasbeschermingsmiddelen, drugs en geneesmiddelen. Conventionele zuiveringsprocessen zijn niet effectief, maar geavanceerde technieken als actieve koolfiltratie, omgekeerde osmose en (geavanceerde) oxidatie kunnen de stoffen meestal wel geheel of gedeeltelijk verwijderen. Bij oxidatieprocessen kunnen omzettingsproducten ontstaan en om die reden moet daarop doorgaans nog een zuiveringsstap (bijvoorbeeld actieve koolfiltratie) volgen. Omgekeerde osmose is weliswaar effectief, maar levert wel een concentraatstroom op die moet worden behandeld of geloosd. Een combinatie van zuiveringstechnieken heeft vaak een goed resultaat, zowel in technische als economische zin.

Referenties

- [1] RIVM (2019): 'Hormoonverstorende stoffen', webpagina, RIVM, Bilthoven.
<https://www.rivm.nl/hormoonverstorende-stoffen>
- [2] World Health Organization (2017): 'Guidelines for drinking-water quality; Fourth edition incorporating the first addendum', ISBN 978-92-4-154995-0, Geneva.
<https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/254637/9789241549950-eng.pdf;jsessionid=2664217407E6F72C0DD4BA2B94E7D61B?sequence=1>
- [3] European Commission (2020): 'Endocrine Disruptors', webpagina.
https://ec.europa.eu/environment/chemicals/endocrine/index_en.htm
- [4] Wee, S.Y., and Aris, A.Z. (2019): 'Occurrence and public-perceived risk of endocrine disrupting compounds in drinking water', npj Clean Water.
<https://www.nature.com/articles/s41545-018-0029-3>
- [5] WHO: 'Global assessment of the state of the science of endocrine disruptors'.
https://www.who.int/ipcs/publications/new_issues/endocrine_disruptors/en/
- [6] European Commission (2019): 'Which substances are of concern? Annex 15 List of 66 substances with classification high, medium or low exposure concern'.
https://ec.europa.eu/environment/archives/docum/pdf/bkh_annex_15.pdf
(zie ook https://ec.europa.eu/environment/chemicals/endocrine/strategy/substances_en.htm)
- [7] Europese Unie (2018): 'Voorstel tot de herziening van de Drinkwaterrichtlijn', Proposal for a DIRECTIVE OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL on the quality of water intended for human consumption (recast), Brussel.
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1519210589057&uri=CELEX:52017PC0753>
- [8] Brand, W, *et al.* (2013): 'Trigger values for investigation of hormonal activity in drinking water and its sources using CALUX bioassays', Environment International, volume 55, pages 109 – 118.
[Trigger values for investigation of hormonal activity in drinking water and its sources using CALUX bioassays - ScienceDirect](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167636913001091)
- [9] Brunner, A.M., *et al.* (2020): 'Integration of target analyses, non-target screening and effect-based monitoring to assess OMP related water quality changes in drinking water treatment', Science of The Total Environment, volume 705.
[Integration of target analyses, non-target screening and effect-based monitoring to assess OMP related water quality changes in drinking water treatment - ScienceDirect](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167636920305424) en
<https://library.kwrwater.nl/publication/60523542/>
- [10] Schriks, M.C.M., Murk, T., Hofs, B., en Wols, B. (2016): 'DPWE robuustheid: toepassen van bioassays', rapport KWR 2016.018, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.
[Publicaties \(kwrwater.nl\)](https://publicaties.kwrwater.nl/)



[11] RIWA Rijn (2020): 'Jaarrapport 2019; De Rijn', Vereniging van Rivierwaterbedrijven, Nieuwegein.
<https://www.riwa-rijn.org/wp-content/uploads/2020/09/RIWA-2020-NL-Jaarrapport-2019-De-Rijn.pdf>

[12] RIWA Maas (2020): 'Jaarrapport 2019; De Maas, Vereniging van Rivierwaterbedrijven , Rotterdam <https://www.riwa-maas.org/wp-content/uploads/2020/09/RIWA-MAAS-Jaarrapport-NL-2019-losse-paginas.pdf>

● Koloniegetal bij 22°C

Grondslag norm: bedrijfstechnisch

Drinkwaterbesluit 2011: maximum waarde 100 kve/ml (geometrisch jaargemiddelde)

WHO 2017: geen vermelding

EU Drinkwaterrichtlijn 2020: geen abnormale verandering

Herkomst

De parameter 'koloniegetal 22°C' vormt een maat voor de kweekbare micro-organismen die van nature in water voorkomen en zich daarin vermenigvuldigen. De bepaling detecteert een groot spectrum van micro-organismen die kunnen groeien op een voedselrijk medium zonder selectiemiddelen, zoals aerobe bacteriën, schimmels en gisten. Een verhoogd aantal van deze micro-organismen kan dan ook een aanwijzing zijn dat er veel nutriënten aanwezig zijn in het drinkwater in het leidingnet [1, 3]. De bepaling van het koloniegetal 22°C wordt meestal uitgevoerd om de invloed van het zuiveringsproces op de aanwezige micro-organismen te meten en ter vaststelling van de nagroei van bacteriën in het leidingnet. Door bijtijds extreme verhogingen te signaleren en maatregelen te nemen, kan het drinkwaterbedrijf voorkomen dat drinkwater met een hoog koloniegetal (veroorzaakt door ofwel abnormale aantallen micro-organismen ofwel abnormaal veel voedingsstoffen in het reinwater) wordt gedistribueerd. Er zijn geen aanwijzingen dat het aantreffen van koloniegetal 22°C een indicatie is voor verminderde microbiologische veiligheid van drinkwater. Grote aantallen bacteriën van het koloniegetal 22°C kunnen echter soms wel aanleiding geven tot geur- en smaakbezwaren [2, 3].

Groei vindt in het leidingnet met name plaats in de biofilm op de wand en in het sediment op de bodem van leidingen. Door opwerveling van sediment (bijvoorbeeld tijdens het spuien van leidingen) kan het koloniegetal 22°C sterk toenemen door het vrijkomen van voedingsstoffen en resuspensie van bacteriën. Door inspoeling van bodemmateriaal rondom leidingen na leidingreparaties of aanleg van nieuwe leidingen kunnen ook verhoogde concentraties koloniegetal 22°C worden gemeten.

Blootstellingsroutes

Bacteriën die deel uitmaken van het koloniegetal 22°C zijn alom aanwezig in onze leefomgeving. Mensen worden voortdurend blootgesteld aan deze bacteriën via menselijke contacten, voedsel, water, drinkwater, etc. [2].

Gezondheidskundige betekenis

Koloniegetal 22°C omvat zowel bacteriën die van nature voorkomen in water en die geen risico vormen voor de volksgezondheid als bacteriën die door middel van een verontreiniging in het drinkwater terecht zijn gekomen. Bepaalde opportunistische pathogenen kunnen ook groeien in de test, maar de kweektemperatuur van 22°C is niet geschikt voor detectie van pathogenen. Koloniegetal 22°C is dan ook geen indicator voor de aanwezigheid van opportunistische pathogenen [1]. Een plotselinge stijging van koloniegetal 22°C kan mogelijk zijn veroorzaakt door een fecale besmetting, maar omdat er ook vele andere oorzaken kunnen zijn voor een verhoging van koloniegetal 22°C zal dit moeten worden bevestigd door een specifieke fecale parameter. Zodoende is koloniegetal dan ook geen indicator voor fecale contaminatie [4]. Er is geen relatie gevonden tussen de aanwezigheid van koloniegetal 22°C en gezondheidseffecten [2].

Normen en richtlijnen verklaard

De aanwezigheid van verhoogde aantallen koloniegetal 22°C kan een indicatie zijn voor onvoldoende verwijdering van micro-organismen in de zuivering. Ook kan door nagroei van bacteriën in het leidingnet, door de aanwezigheid van voldoende nutriënten in het drinkwater of een verontreiniging van het leidingnet (door bijvoorbeeld een leidingbreuk of een reparatie) het

koloniegetal zijn verhoogd [3, 4]. De parameter heeft een bedrijfstechnische betekenis: bij snel en sterk verhoogde aantallen is aandacht vereist om de oorzaak daarvan te achterhalen en te verhelpen.

Aanwezigheid in drinkwater(bronnen) en monitoring

De parameter koloniegetal 22°C dient volgens het Drinkwaterbesluit en de Drinkwaterregeling te worden gemeten in het drinkwater aan het tappunt.

Tussen 2015 en 2020 werden kolonies in alle locaties in drinkwater aan het tappunt gevonden als de bron oppervlaktewater is. Als grondwater de bron is, worden kolonies in 98% van de locaties aan het tappunt aangetroffen. De detectiegrens is afhankelijk van het volume dat wordt ingezet en kan dus variëren. Standaard wordt er 1 ml ingezet, wat een detectiegrens van 1 kve/ml geeft. De mediaanconcentratie ligt rond de 10 kve/100 ml in het geval oppervlaktewater de bron voor het drinkwater is. Als grondwater de bron voor drinkwater is, ligt die concentratie rond de 5 kve/ml.

De maximum waarde van het geometrisch jaargemiddelde van 100 kve/100 ml voor koloniegetal 22°C werd in 2020 in Nederland niet overschreden in de wettelijke meetprogramma's en eenmaal overschreden na werkzaamheden [5]. In 2021 is er geen overschrijding van die waarde gerapporteerd [6].

Zuivering

Zuiveringsstappen als coagulatie, sedimentatie en membraanfiltratie kunnen aantallen van het koloniegetal 22°C laten afnemen, terwijl stappen als actieve-koolfiltratie en zandfiltratie de aantallen kunnen laten toenemen [4]. Alle gebruikelijke desinfectiemethoden (UV- en ozondesinfectie, chloor en chloordioxide) zijn effectief voor de verwijdering van de koloniegetal 22°C-bacteriën [1].

Referenties

- [1] WHO. (2022). Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first and second addenda. WHO, Geneva.
- [2] Bartram, J., Cotruvo, J., Exner, M., Fricker, C., Glasmacher, A. (2003). Heterotrophic plate counts and drinking-water safety: The significance of HPCs for water quality and the human health. IWA, London.
- [3] Hygiënecode Drinkwater, Deel 1: Algemeen. KWR, PCD 1-1, november 2020.
[http://api.kwrwater.nl/uploads/2021/01/PCD-1-1-2020-\(november-2020\)-Hygienecode-Drinkwater-Deel1-Algemeen.pdf](http://api.kwrwater.nl/uploads/2021/01/PCD-1-1-2020-(november-2020)-Hygienecode-Drinkwater-Deel1-Algemeen.pdf)
- [4] WHO Drinking Water Parameter Cooperation Project. Geneva: World Health Organization; 2017. [Circabc \(europa.eu\)](http://circabc.europa.eu)
- [5] ILT, 2020. Drinkwaterkwaliteit 2020 | Publicatie | Inspectie Leefomgeving en Transport (ILT) (ilent.nl). [Drinkwaterkwaliteit 2020 | Jaarverslag | Inspectie Leefomgeving en Transport \(ILT\) \(ilent.nl\)](https://ilent.nl/publicaties/Drinkwaterkwaliteit-2020-Jaarverslag-Inspectie-Leefomgeving-en-Transport-ILT)
- [6] ILT, 2021. Drinkwaterkwaliteit 2021 | Publicatie | Inspectie Leefomgeving en Transport (ILT) (ilent.nl). [Drinkwaterkwaliteit 2021 | Jaarverslag | Inspectie Leefomgeving en Transport \(ILT\) \(ilent.nl\)](https://ilent.nl/publicaties/Drinkwaterkwaliteit-2021-Jaarverslag-Inspectie-Leefomgeving-en-Transport-ILT)

● Koper

Grondslag norm: gezondheidkundig

Drinkwaterbesluit 2011: maximum waarde 2,0 mg/l

WHO 2017: richtwaarde 2,0 mg/l

EU Drinkwaterrichtlijn 2020: parameterwaarde 2,0 mg/l

Herkomst

Koper komt voor in verschillende mineralen en is op veel plaatsen in de aardkorst aanwezig. Belangrijke vindplaatsen van kopererts zijn Chili, Peru en de Verenigde Staten [1]. De natuurlijke achtergrondconcentratie van koper bedraagt in Nederland 0,5 µg/l in zoet oppervlaktewater [2]. Koper komt zowel via natuurlijke bronnen (bijvoorbeeld via vegetatie en zeedamp) als door menselijke activiteiten (mijnbouw, metaalproductie, bos- en landbouw, textielindustrie en de productie van fosfaatmeststoffen) in het milieu. Door de stijgende productie van koper is ook het gehalte aan koper in het milieu toegenomen. De totale emissie aan koper in Nederland via afvalwater bedroeg circa 258 ton in 2012, waarvan 76% op het riool is geloosd. De corrosie van drinkwaterleidingen zorgt voor hogere kopergehalten in het slib van RWZI's [3]. Koper is een belangrijk onderdeel in veevoer. Het draagt bij aan een verbeterde voedselopname. Medio 2000 zijn de grenswaarden voor koper (en ook zink) in mengvoeders aangescherpt. De hoeveelheid van deze metalen in dierlijke mest is hierdoor sterk afgenomen. Hiermee is ook de aanvoer van koper naar landbouwgronden gedaald. Op landbouwgronden werd in 2000 97% (379 g per hectare per jaar) van de totale koperbelasting aangevoerd via dierlijke en kunstmest. De atmosferische depositie in 2000 bedroeg 10 g per hectare per jaar. Koper bindt goed aan de bodem. De effecten van koperbelasting op het maaiveld op de concentraties in het grondwater zijn hierdoor gering [4].

De concentratie koper in drinkwater wordt voornamelijk bepaald door koperen aansluitleidingen en onderdelen van binneninstallaties. Uitsluitend in het geval van zeer 'agressief' drinkwater kan de maximum waarde worden overschreden [5].

Blootstellingsroutes

Voedsel en drinkwater zijn de voornaamste bronnen van inname en blootstelling aan koper. In het algemeen bedraagt de dagelijkse inname voor volwassenen 1 tot 3 mg. Het gebruik van vitamine- en mineraalsupplementen verhoogt de blootstelling met circa 2 mg/l. De bijdrage van drinkwater varieert sterk: van minder dan 0,1 tot 1 mg per dag. Het drinken van water dat lange tijd in binneninstallaties heeft stilgestaan, kan de blootstelling aan koper sterk verhogen [5].

Voedsel waarin veel koper zit zijn onder andere lever en ander orgaanvlees, zeevruchten, noten, cacao en zaden [6].

Gezondheidkundige betekenis.

Koper is een essentieel spooorelement, maar in hogere concentraties is het giftig. Koper is nodig bij het vormen van bindweefsel en botten. Het zorgt ook voor de vorming van pigment van het haar, een goede werking van het afweersysteem en de bloedstolling. Bovendien speelt koper een rol bij de overdracht van zuurstof (oxidatiereacties) [7]. Een tekort aan koper kan leiden tot bloedarmoede. Bij concentraties in drinkwater hoger dan 3 mg/l kan irritatie van de spijsverteringsorganen optreden. Chronische blootstelling aan hoge concentraties koper kunnen tot leverschade en maag-darmklachten leiden [6]. Deze situatie zal zich in Nederland niet gauw voordoen (zie hieronder 'Aanwezigheid in drinkwater(bronnen) en monitoring').

Normen en richtlijnen verklaard

In de tweede editie van de WHO-Richtlijnen is sprake van een voorlopige richtwaarde van maximaal 2 mg/l koper in drinkwater. In de daaropvolgende editie is de status veranderd in richtwaarde, omdat dit

beter kon worden onderbouwd met toxicologisch onderzoek [5]. Met een richtwaarde van maximaal 2 mg/l koper (ook maximum waarde volgens het Drinkwaterbesluit) is het mogelijk om 2 tot 3 liter water per dag te drinken, voedsel supplementen in te nemen en koper uit voedsel in te nemen zonder het toegestane bovenste innameniveau van 10 mg/dag te overschrijden [5].

Aanwezigheid in drinkwater(bronnen) en monitoring

Koper moet volgens de Drinkwaterregeling aan het tappunt worden gemeten. Sinds 2004 wordt dit volgens de RDT-methode (Random Day Time) uitgevoerd aan de hand van het 'Protocol voor de bemonstering van zware metalen' [12]. Als oppervlaktewater wordt gebruikt, dient het ook in het ruwe water te worden gemeten.

In de periode 2004 tot 2011 is in 16.046 RDT-monsters de concentratie koper gemeten. 99,7% van die concentraties zijn lager dan de maximum waarde van 2 mg/l. In 55 monsters is een concentratie hoger dan de maximum waarde gemeten, waarvan 17 hoger dan 3 mg/l en 5 hoger dan 4 mg/l. De hoogst gemeten waarde bedraagt 180 mg/l [8]. Verhoogde concentraties koper in drinkwater in met name de eerste maanden na oplevering van nieuwbouwwoningen is een bekend fenomeen [10].

Uit de REWAB-rapportage blijkt dat tussen 2015 en 2020 koper in alle monsters voor drinkwater wordt aangetroffen, ongeacht de bron (oppervlakte- of grondwater). De rapportagegrens varieert tussen 0,5 en 5,0 µg/l. De mediaanconcentratie is 150 µg/L bij oppervlaktewater als bron en iets lager bij grondwater als bron: 123 µg/l. Maxima liggen voor oppervlaktewater als bron rond de 1.600 µg/l en altijd onder 2.000 µg/l. Bij grondwater als bron is dit elk jaar >2.100 µg/l en in 2019 was dit 3.200 µg/l.

In ruw oppervlaktewater wordt koper op 49% van de meetlocaties aangetroffen. De mediaanconcentratie is 3 µg/l. Maxima over alle locaties per jaar in ruw oppervlaktewater liggen rond de 8 µg/l met een uitschieter van 490 µg/l in 2015.

Overschrijdingen van de maximum waarde voor koper in drinkwater over de jaren 2015 – 2021 zijn door ILT (dus) niet gemeld.

Zuivering

Koper wordt in conventionele zuiveringen niet verwijderd. Dat is geen probleem, omdat het in de bronnen voor drinkwater in lage concentraties voorkomt [9].

Koper kan uit afvalwater worden verwijderd door middel van adsorptie met behulp van natuurlijke en gemodificeerde adsorbentia, cementatie (precipitatie met zink), membraanfiltratie, elektrochemische methoden en fotokatalyse.

Referenties

- [1] [Copper | Cu | CID 23978 - PubChem \(nih.gov\)](#)
- [2] Maas, H., ten Hulscher, D. (2019). Achtergrondconcentraties voor metalen in Nederland. Toelichting voor de wetenschappelijke klankbordgroep Normstelling. RWS-WVL. [Achtergrondconcentraties-metalen.pdf \(rivm.nl\)](#)
- [3] Geertjes, K, Baas, K., Verschuren, S., Kaashoek, R., Graveland, C. (2016). Koper in afvalwater en slib. CBS, Den Haag.
- [4] <https://www.rivm.nl/koper-toestand-2015-2018>.
- [5] WHO. Copper in Drinking-water. Background document for development of WHO *Guidelines for Drinking-water Quality*. WHO/SDE/WSH/03.04/88. WHO, Genève. [copper.pdf](#)
- [6] <https://ods.od.nih.gov/factsheets/Copper-HealthProfessional/>.
- [7] <https://www.voedingscentrum.nl/encyclopedie/koper.aspx>.

- [8] Slaats, N., Blokker, M., Versteegh, A. (2014). Lood, koper en nikkel in het Nederlandse drinkwater aan de tap. H2O-Online 28 oktober 2014.
[1410-09 Metalen in drinkwater \(h2owaternetwerk.nl\)](#)
- [9] WHO Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first and second addenda. Geneva: World Health Organization; 2022.
[9789240045064-eng \(2\).pdf](#)
- [10] Wuijts, S., Slaats, P.G.G., Versteegh, J.F.M., en Meerkerk, M.A. (2008): 'Drinkwaterkwaliteit in nieuwbouwwoningen', RIVM-rapport 703719023/2007, RIVM, Bilthoven.
[RIVM rapport 703719023 Drinkwaterkwaliteit in nieuwbouwwoningen](#)
- [11] Nur Hafizah Ab Hamid et.al (2022) 'The Current State-Of-Art of Copper Removal from Wastewater: A Review' Water 2022, 14(19), 3086; <https://doi.org/10.3390/w14193086>
- [12] [Inspectierichtlijn Harmonisatie Meetprogramma Drinkwaterkwaliteit](#)

● Kwik

Grondslag norm: gezondheidskundig

Drinkwaterbesluit 2011: maximum waarde 1 µg/l

WHO 2022: richtwaarde 6,0 µg/l

EU Drinkwaterrichtlijn 2020: parameterwaarde 1 µg/l

Herkomst

Kwik (Hg) is een zwaar metaal dat van nature in het milieu voorkomt [1]. Het is het enige metaal dat vloeibaar is bij kamertemperatuur [2]. Elementair kwik komt voor als damp of vloeibaar, glinsterend metaal. Een- of tweewaardig kwik (Hg^+ , Hg^{2+}) vormt anorganisch zouten, zoals kwik(II)chloride. Organisch kwik (bijvoorbeeld methyalkwik of dimethyalkwik) wordt uit anorganisch kwik gevormd door anaerobe bacteriën in aquatische systemen zoals meren, moerassen en oceanen [3, 4], waarna het de voedselketen binnendringt en accumuleert in de biota [1].

De belangrijkste bronnen voor kwik ten behoeve van commerciële winning zijn de mineralen cinnaber, corderoiet en livingstoniet. Ongeveer de helft van de totale wereldproductie is afkomstig uit Spanje en Italië [2].

In de industrie wordt kwik vooral gebruikt voor elektrische en elektronische toepassingen, en in allerlei verbindingen. Tot ongeveer het einde van de 20^e eeuw werd kwik veel gebruikt in thermometers en barometers, en als tandvulling (amalgam). Vanwege de giftigheid van dit element is het voor deze toepassingen steeds meer in onbruik geraakt [2].

Kwik wordt toegepast in kwikdamlampen zoals spaarlampen, zeer heldere lichtbronnen die gasvormig kwik bevatten⁸. Op laboratoria wordt kwik regelmatig gebruikt voor thermometers ten behoeve van hoge temperaturen, diffusiepompen en andere laboratoriuminstrumenten. Omdat kwik makkelijk verbindingen (amalgamen) vormt met goud, wordt het bij kleine (illegale) winningen toegepast om goud te isoleren uit gouderts. Hierdoor kunnen grote gebieden en ecosystemen verontreinigd raken met kwik [3].

In het verleden werd methyalkwik direct of indirect geproduceerd bij verschillende industriële processen zoals de bereiding van acetaldehyde. Tegenwoordig zijn er nog maar weinig antropogene bronnen van methyalkwik. De voornaamste bron is de verbranding van kwik bevattende brandstoffen, zoals afval en fossiele brandstoffen (voornamelijk steenkool) [3]. Ook zou kwik in het milieu terecht komen via illegale lozingen en dumpingen van drugslaboratoria.

Blootstellingsroutes

Voeding is de voornaamste blootstellingsroute voor kwik bij mensen die niet beroepsmatig met kwik in aanraking komen. Vis en visproducten dragen het meeste bij aan de blootstelling aan kwik via voedsel. Er is een voedseladvies voor zwangere vrouwen om op te letten bij vissoorten, omdat sommige meer kwik en andere verontreinigingen bevatten [7, 8]. De gemiddelde dagelijkse opname van organisch kwik uit voedsel ligt volgens de WHO in de range van 2 – 20 µg, maar kan veel hoger zijn in gebieden waar het water met kwik is verontreinigd of als vis een groot deel van het dieet bepaalt [1]. Enkele grootschalige vergiftigingen met kwik vonden plaats in Japan gedurende de jaren 50 van de vorige eeuw vanwege industriële lozingen van kwik in rivieren en kustwateren. De bekendste gevallen waren in Minamata and Niigata. In Minamata alleen al stierven meer dan 600 mensen als gevolg van wat bekend werd als de minamataziekte. Meer dan

⁸ Het wordt ook toegepast in lampen voor desinfectie van bijvoorbeeld drinkwater (op grote en kleine schaal). Met enige regelmaat is er ophef over omdat dit verboden zou moeten worden. Aangezien er tot nu toe geen goed alternatief is, wordt de toepassing van deze lampen nog steeds toegestaan. Het gaat dan om middendruk en lagedruk kwiklampen.

21.000 mensen dienden klachten in bij de Japanse overheid, waarvan er bijna 3.000 werden erkend als lijdend aan de ziekte. In 22 gedocumenteerde gevallen hadden zwangere vrouwen die met kwik verontreinigde vis aten milde of geen symptomen, maar brachten zij baby's ter wereld met ernstige ontwikkelingshandicaps [4].

Concentraties kwik in het regenwater schommelen volgens de WHO tussen 5 en 100 ng/l. De natuurlijke concentraties in grond- en oppervlaktewater zijn doorgaans minder dan 0,5 µg/l [1]. De concentratie kwik in de lucht wordt door de WHO geschat op 10 ng/m³. De dagelijkse blootstelling aan anorganisch kwik via inhalatie bedraagt dan 0,2 µg [1].

Gezondheidkundige betekenis

Alle vormen van kwik(verbindingen) zijn giftig [4]. Anorganisch kwik is iets minder toxisch dan organisch kwik, omdat het de bloed-hersen-barrière niet kan passeren. Anorganisch kwik is vooral toxisch voor de nieren, terwijl methylkwik (een vorm van organisch kwik) voornamelijk effecten heeft op het centrale zenuwstelsel. In grond- en oppervlaktewater komt kwik uitsluitend in de anorganische vorm voor [1].

Normen en richtlijnen verklaard

De WHO heeft de maximaal toelaatbare dagelijkse totale inname aan anorganisch kwik van 2 µg/kg lichaamsgewicht gebaseerd op een NOAEL van 0,23 mg/kg lichaamsgewicht per dag voor effecten op de nieren in een 26 weken durende studie met ratten. Hierbij is een onzekerheidsfactor van 100 toegepast voor verschillen tussen soorten en verschillen tussen individuen van een soort en een correctie voor de dagelijkse dosering [5]. Met inachtneming van 10% allocatie voor drinkwater, een lichaamsgewicht van 60 kg en een dagelijkse consumptie van 2 l drinkwater is de richtwaarde op 6 µg/l bepaald [5].

In de Europese Drinkwaterrichtlijn en in het Nederlandse Drinkwaterbesluit is de al lange tijd geldende grenswaarde van 1 µg/l gehandhaafd [6].

Aanwezigheid in drinkwater(bronnen) en monitoring

De parameter kwik wordt volgens de Drinkwaterregeling bepaald in ruw oppervlaktewater (voor grondwater dat is bestemd voor de bereiding van drinkwater is er voor deze parameter geen meetverplichting) en in drinkwater na de laatste zuiveringsstap of aan het tappunt.

Tussen 2015 en 2020 is kwik in gemiddeld 16,6% van de meetlocaties aangetroffen in ruw oppervlaktewater. De rapportagegrens varieert van 0,01 – 0,06 µg/l. De mediaanconcentratie ligt op de rapportagegrens van 0,02 µg/l. De hoogste waarde gemeten is over de jaren heen jaren 0,06 µg/l. In drinkwater na de laatste zuiveringsstap wordt kwik per jaar in minder dan een procent van de meetlocaties aangetroffen. De rapportagegrens is hier 0,02 – 0,06 µg/l. In 2015 was dit 1,43%. In 2020 was dit percentage weliswaar 17%, maar omdat metingen in dat jaar werden gerapporteerd op 0,02 µg/l precies, lijkt dit eerder op een vergeten '<' symbool in de data. In drinkwater na de laatste zuiveringsstap liggen de maxima in de meeste jaren beneden de 0,04 µg/l. Er zijn twee uitschieters: 0,11 µg/l in 2015 en 0,37 µg/l in 2016.

Kwik wordt niet vermeld in de ILT rapportages over de drinkwaterkwaliteit in de jaren 2015 – 2022.

Zuivering

De conventionele chemische coagulatie, sedimentatie en filtratie verwijderen anorganisch kwik tot 80%. IJzersulfaat is effectiever in de verwijdering dan aluminiumsulfaat. Bovendien is de verwijdering effectiever als er veel gesuspendeerde stoffen aanwezig zijn. Naast ionenwisselaars zijn het doseren van actieve kool in poedervorm (poederkool) en actieve-koolfiltratie methoden om kwik te verwijderen [1].

Referenties

[1] WHO (2005): 'Mercury in Drinking-Water; Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality', WHO/SDE/WSH/05.08/10, WHO, Genève.

[Microsoft Word - Mercury_3 .doc \(who.int\)](#)



- [2] <https://nl.wikipedia.org/wiki/Kwik>
- [3] <https://nl.wikipedia.org/wiki/Methylkwik>
- [4] <https://nl.wikipedia.org/wiki/Kwikvergiftiging>
- [5] WHO (2022): 'Guidelines for drinking-water quality; Fourth edition incorporating the first and second addenda', Geneva.
<https://www.who.int/publications/i/item/9789240045064>
- [6] WHO: [mercury-history.pdf \(who.int\)](#)
- [7] Gezondheidsraad: [Voedingsaanbevelingen voor zwangere vrouwen | Advies | Gezondheidsraad](#) met [A6-Achtergronddocument-Beoordeling-vissoorten-en-dosering-visvetzuursupplementen-voor-zwangere-vrouwen.pdf](#)
- [8] Voedingscentrum: [Is het goed om vis te eten tijdens je zwangerschap? | Voedingscentrum](#)

● Legionella

Grondslag: gezondheidskundig

[Drinkwaterbesluit](#) 2011 (hoofdstuk 4 'Legionellapreventie', artikelen 35 tot en met 44a): < 100 kvd/l

EG-Drinkwaterrichtlijn 1998: geen vermelding

WHO Guidelines 2017: geen vermelding

De ministeriële [Regeling legionellapreventie in drinkwater en warm tapwater](#) 2011: meldplicht bij ≥ 100 kvd/l en extra meldplicht bij > 1.000 kvd/l

Introductie

Legionellabacteriën groeien in water met een temperatuur tussen de 20 en 50°C. Als het water in hele kleine druppeltjes (nevel) in de lucht komt, kan iemand de bacterie inademen en besmet raken. Van nature komt de bacterie voor in grond en in water [1].

Herkomst

Legionellabacteriën komen in bescheiden aantallen voor in oppervlaktewater. Ze kunnen door toepassing van diverse desinfectiemiddelen zoals chloor, ozon en UV-licht zodanig worden verwijderd dat hun aantal niet meer meetbaar is. Dat is echter geen waterdichte garantie dat er geen legionellabacteriën in het gedistribueerde drinkwater aanwezig zijn. Dergelijke aantallen kunnen zo klein zijn dat ze niet zijn te meten. Legionellabacteriën komen niet voor in grondwater. Ze kunnen wel aanwezig zijn in de bodem en zo via het leidingnet in drinkwater terechtkomen (bijvoorbeeld tijdens de aanleg van drinkwaterleidingen of in geval van leidingbreuken).

Blootstellingsroutes

Als het water van door de mens gemaakte watersystemen in hele kleine druppeltjes (nevel, aerosol) in de lucht komt, kan iemand de daarin aanwezige legionellabacteriën inademen (bijvoorbeeld bij het douchen) en mogelijk ziek worden [1]. Vooral mensen met een verzwakte afweer tegen infecties zijn vatbaar voor legionella-infecties, maar ook gezonde mensen kunnen de ziekte oplopen. Ook kan besmetting plaatsvinden in de volgende gevallen waar waterdruppels in de lucht komen: fontein, versproeien van water, bubbelbaden, luchtbevochtiging door apparaten die water vernevelen, uitstoot van koeltorens, waterinstallaties die gebouwen of industriële processen koelen door vernevelen van water en afvalwaterzuiveringsinstallaties waar ook lucht aan het water wordt toegevoegd [1,3]. De kans om thuis ziek te worden door legionellabacteriën is vermoedelijk erg klein [1]. Mensen kunnen uitsluitend ziek worden na blootstelling aan verneveld water en dus niet door het drinken van water. Een geïnfecteerd persoon draagt de legionellabacterie niet over naar andere mensen.

Vermenigvuldiging van legionellabacteriën is mogelijk in onder de paragraaf 'Herkomst' vermelde systemen bij temperaturen tussen de 20 en 45°C, bij de aanwezigheid van voedingsstoffen en bij langdurige stilstand van het water. Bij temperaturen boven de 55 – 60°C worden ze gedood.

Gezondheidskundige betekenis

Legionellose (ook bekend als de veteranenziekte) is een relatief weinig voorkomende ziekte die voor het eerst bekend werd, toen zich in 1976 een onbegrepen epidemie van longontstekingen voordeed onder oud-strijders (veteranen) die deelnamen aan een reünie in Philadelphia in de VS. Het verantwoordelijke micro-organisme bleek een nog niet beschreven bacteriesoort te zijn. Het kreeg de naam *Legionella pneumophila*.

Er zijn vele soorten *Legionella*. De meeste soorten *Legionella* staan niet bekend als ziekteverwekker. In de [Regeling legionellapreventie in drinkwater en warm tapwater](#) worden 21

soorten genoemd die ziekte bij de mens kunnen veroorzaken. In Nederland is *Legionella pneumophila* vrijwel altijd verantwoordelijk voor de gerapporteerde ziektegevallen. Een infectie met *Legionella pneumophila* kan in verschillende vormen voorkomen, variërend van een mild griepachtig ziektebeeld ('Pontiac fever') tot een zeer ernstige longontsteking: *Legionella*-pneumonie. Zonder adequate behandeling met antibiotica heeft laatstgenoemde ziekte in ongeveer 15% van de gevallen een dodelijke afloop.

De diagnose *Legionella*-pneumonie is moeilijk vast te stellen. Vermoed wordt dat in Europa bij gemiddeld 3% van de patiënten die met een longontsteking in een ziekenhuis worden opgenomen *Legionella pneumophila* de ziekteverwekker is.

De meeste mensen worden niet ziek als ze de ziekteverwekkende legionellabacterie inademen. Als er klachten ontstaan, gebeurt dat meestal binnen twee tot tien dagen nadat de bacterie is ingeademd. Ongeveer 3 op elke 100.000 mensen per jaar loopt een legionellalongontsteking op. Er bestaat geen vaccin tegen de legionellabacterie. Behandeling met antibiotica is wel mogelijk [1]. Mensen die meer kans hebben om een ernstige longontsteking te krijgen, zijn ouderen, mensen met een slechte gezondheid of een verminderde afweer en rokers. Longontsteking door *Legionella* komt bijna nooit voor bij mensen die jonger zijn dan 40 jaar [1].

Het aantal gerapporteerde gevallen in Nederland bedraagt gemiddeld ongeveer 40 tot 60 per jaar. Een aanzienlijk deel van deze besmettingen is tijdens een verblijf in het buitenland opgelopen. De *legionella pneumoniën* die in ons land zijn opgelopen, worden voornamelijk toegeschreven aan warmtapwatersystemen in ziekenhuizen, zwembaden, hotels en instellingen.

In juli 1997 rapporteerde de Inspectie voor de Gezondheidszorg enkele gevallen met *Legionella*-pneumonie bij patiënten tijdens een verblijf in het ziekenhuis. De besmetting vond plaats via het warmwatersysteem, waar de watertemperatuur te laag was afgesteld (45°C). *Legionella*-pneumonie is ook vastgesteld bij twee personen die in een instelling verbleven, waar de warmwatertemperatuur conform het advies van de Gezondheidsraad op minimaal 60°C was ingesteld. De oorzaak in dit geval was het koudwatersysteem dat hoge aantallen *Legionella* bevatte. De temperatuur van dit systeem was hoger dan 30°C, een temperatuur waarbij legionellabacteriën zich kunnen vermenigvuldigen. Het koude water van dit systeem werd waarschijnlijk opgewarmd door de ernaast lopende leidingen van het leidingnet voor warmwater.

De grootste uitbraak van *Legionella* in Nederland was onder bezoekers van de West-Friese Flora in Bovenkarspel, begin 1999. De oorzaak hiervan was een whirlpool op de consumentenbeurs ernaast. Het water was enkele dagen achter elkaar verwarmd tot een temperatuur rond de 35 tot 40°C. Ook werd het water niet verversd of gedesinfecteerd, waardoor het risico nog groter werd. Uiteindelijk zijn tijdens deze uitbraak meer dan 200 mensen ziek geworden en 32 mensen overleden aan *Legionella*.

Het aantal ziektegevallen stijgt licht sinds 2012 [1].

Normen en richtlijnen verklaard

In het [Drinkwaterbesluit](#) staat dat eigenaren van een collectieve watervoorziening of collectief leidingnet een risicoanalyse voor *Legionella* moeten uitvoeren. Als op basis daarvan blijkt dat het risico niet nul is, moet er een legionellabeheersplan worden gemaakt met daarin maatregelen om de risico's te beperken of weg te nemen met inbegrip van een monitoringsprogramma.

Aanwezigheid in drinkwater(bronnen) en monitoring

De aanwezigheid van legionellabacteriën in koud drinkwater is incidenteel: ze zijn niet of in kleine aantallen aangetoond. In warmtapwatersystemen (als onderdeel van installaties, dat wil zeggen 'na de watermeter') kunnen ze wel in hoge aantallen voorkomen. Het betreft vooral systemen met water waarin de temperatuur niet overal boven de 60°C wordt gehouden, bijvoorbeeld warmwatersystemen met een voorraadvat, zoals boilers, verwarmd water in gesloten warmwatersystemen in instellingen (douches), warmtapwatersystemen voor airconditioning, koeltorens, whirlpools en medische apparatuur.

Naast de temperatuur (minimaal 60°C) speelt ook de tijdsduur waarbij het water tot boven 60°C wordt verwarmd, een rol.

De wettelijke meetverplichting voor de drinkwaterbedrijven beperkt zich tot het meten van *Legionella* in drinkwater 'af pompstation' en in het leidingnet. Volgens het [Drinkwaterbesluit](#) dient het drinkwaterbedrijf elke zes maanden het drinkwater na de laatste zuiveringsstap te onderzoeken op de aanwezigheid van *Legionella*. Verder is daarin aangegeven dat het drinkwaterbedrijf het drinkwater in het leidingnet moet onderzoeken met een bepaalde audit-frequentie, die is vastgelegd in de [Regeling legionellapreventie in drinkwater en warm tapwater](#) [5].

Bij het bepalen van het aantal *Legionella* in water wordt met een kweekmethode eerst het totaal aantal legionellabacteriën geteld. Met een daaropvolgende typering kunnen de verschillende soorten worden onderscheiden. Bij de typering van de gevonden legionellasoorten in drinkwater in Nederland gaat het in 98,5% van de gevallen om de niet-gevaarlijke soort *Legionella anisa* [4].

In oppervlaktewater en grondwater wordt *Legionella* niet gemeten ([RIWA](#), [REWAB](#)), omdat het niet relevant is voor de aanwezigheid in drinkwater vanwege de desinfecterende werking van de oppervlaktewaterzuivering en omdat ze specifieke groeiomstandigheden in warmwaterinstallaties nodig hebben. Tijdens de bereiding, de opslag, het transport en de distributie van drinkwater is de watertemperatuur relatief laag en op die plaatsen wordt *Legionella* derhalve niet of incidenteel in kleine aantallen aangetoond. In het leidingnet is *Legionella* de afgelopen vijf jaar op de meeste locaties gerapporteerd als 'lager dan 100 kvd per liter' ([REWAB](#)). In 2018 zijn 1.773 metingen uitgevoerd, waarbij 67 overschrijdingen zijn aangetoond (3,78%). Vrijwel alle overschrijdingen van de grenswaarde voor *legionella* zijn geconstateerd in drinkwaterinstallaties [6].

De legionellaproblematiek beperkt zich tot specifieke warmwatersystemen en wanneer de groeiomstandigheden daarin ideaal zijn, kunnen de aantallen binnen een paar dagen zeer sterk toenemen.

Voor eigenaren van een collectieve watervoorziening of een collectief leidingnet geldt het volgende. Bij meer dan 100 kvd per liter is er een meldplicht en wordt er geadviseerd over de te nemen herstelmaatregelen. Er is een extra meldplicht aan de inspecteur als het drinkwater meer dan 1.000 kvd legionellabacteriën per liter bevat. Er wordt ook gekeken op welke wijze consumenten worden geadviseerd om op dat moment hun gezondheid te beschermen. De inspecteur kan bepalen dat de meetfrequentie of het aantal in het onderzoek te betrekken meetpunten wordt verlaagd of verhoogd.

Zuivering

De legionellaproblematiek beperkt zich tot specifieke warmwatersystemen, zodat de eraan voorafgaande zuivering geen rol speelt.

Beheersing van *Legionella*

De eigenaren van bovengenoemde warmwatersystemen zijn verantwoordelijk voor de beheersing van groei van de legionellabacteriën in installaties. Afhankelijk van de aard van een drinkwaterinstallatie moeten er preventieve (beheers)maatregelen worden getroffen die de overleving en groei van legionellabacteriën voorkómen. De belangrijkste controlemaatregel in Nederland is ervoor te zorgen dat de warmtapwatertemperatuur boven de 60°C is, omdat *Legionella pneumophila* die temperatuur zeker niet overleeft. Daarnaast hebben installaties waarin het water niet stilstaat, minder kans op groei van legionellabacteriën.

Voor drinkwater in woningen hoeft geen legionellabeheersplan te worden uitgevoerd. De kans dat iemand thuis als gevolg van legionellabacteriën ziek wordt, is klein. Consumenten kunnen de kans op besmetting met *Legionella* in en rondom de woning beperken. Na een vakantie kunnen consumenten de douchekraan voor gebruik eerst een minuut laten lopen. De temperatuur van het water uit de sanitaire kraan (het gemengde koude en hete water dus) dient daarbij ten minste 60°C te zijn. Water in apparaten die water vernevelen of sproeien (bijvoorbeeld tuinslangen of plantenspuit) moet na gebruik daarvan zo veel mogelijk worden verwijderd, om te voorkomen dat legionellabacteriën zich bij opwarming gaan vermeerderen. De groei van *Legionella* kan worden beperkt door aandacht te geven aan het volgende:

- De boiler of combiketel dient goed te zijn afgesteld (ten minste 60°C).

- Het hete en koude water moeten minimaal wekelijks worden gebruikt.
- Na terugkeer van vakanties moeten de kranen en de douche even worden doorgespoeld om het water te verversen.
- Aanpassingen aan de drinkwaterinstallatie worden uitgevoerd door een erkend installatiebedrijf. Het is onder meer belangrijk dat 'dode leidingen' en opwarming van koud water door naastgelegen leidingen met warm of heet water (hotspots) bij de aanleg worden voorkomen.

Apparaten die water vernevelen of sproeien dienen regelmatig te worden schoongemaakt. Er mag geen water in deze apparaten blijven staan als die langer dan een week niet worden gebruikt.

Voorbeelden daarvan zijn:

- *Tuinslang, hoge drukspuit en andere sproeiende (speel)apparaten*
Deze attributen moeten na gebruik goed leeg worden gemaakt. De plantenspuit dient na ieder gebruik te worden geleegd.
- *Bubbelbad (spa, whirlpool, jacuzzi, hot tub, etc.)*
Moet regelmatig worden gereinigd en ontsmet volgens de gebruiksaanwijzing. Als het bad in de tuin staat, moet ervoor worden gezorgd dat er geen aarde/grond in het water komt.
- *Apneu-apparaat (CPAP)*
Het waterreservoir wordt gevuld met afgekoeld gekookt water en dit moet dagelijks worden verversd. Het masker moet dagelijks worden gereinigd. Het reservoir moet wekelijks worden gereinigd en ontsmet, conform de gebruiksaanwijzing.
- *Douche*
De douche moet regelmatig worden ontkalkt.
- *Luchtbevochtigers*
Luchtbevochtigers worden gevuld met gekookt en afgekoeld water. Het reservoir wordt regelmatig gereinigd en ontkalkt, en het water wordt minimaal wekelijks verversd.
- *Waterbevalling*
Het bad wordt voor gebruik schoongemaakt en pas gevuld als de bevalling begint. Er moet geen gebruik worden gemaakt van baden met watercirculatie of verwarming. In het geval van huurbaden dient altijd een hygiënische hoes te worden gebruikt.

Apparaten waarvan de temperatuur regelmatig boven de 60°C komt of waarvan het water niet wordt verneveld, kunnen niet leiden tot legionellalongontsteking. Voorbeelden daarvan zijn koffiezetapparaten, waterbakjes (bijvoorbeeld op verwarming) en stoomapparaten.

Referenties

- [1] RIVM, webpagina *Legionella* <https://www.rivm.nl/legionella>
- [2] World Health Organization (2017): 'Guidelines for drinking-water quality; Fourth edition incorporating the first addendum', ISBN 978-92-4-154995-0, Geneva.
<https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/254637/9789241549950-eng.pdf;jsessionid=2664217407E6F72C0DD4BA2B94E7D61B?sequence=1>
- [3] Bartels, A.A.. *et. al.* (2019): 'Inventarisatie van legionellarisico's bij afvalwaterzuiveringsinstallaties', RIVM Briefrapport 2019-0061, RIVM, Bilthoven.
<https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2019-0061.pdf>
- [4] National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine (2019): 'Management of *Legionella* in Water Systems', The National Academies Press, Washington, DC.
<https://doi.org/10.17226/25474>
- [5] Staatscourant 2011: '[Regeling legionellapreventie in drinkwater en warm tapwater](#)' van 27 juni 2011, nr. 10828 van 29 juni 2011 (oorspronkelijke editie)
vigerend vanaf 1 januari 2019: [Regeling legionellapreventie in drinkwater en warm tapwater](#)



- [6] Inspectie Leefomgeving en Transport (2019): 'Drinkwaterkwaliteit 2018', Inspectie Leefomgeving en Transport ILT/TWO/Veiligheid en Instituties/Publieke Instellingen/Bedrijven, Den Haag.
<https://www.ilent.nl/documenten/jaarverslagen/2019/12/18/drinkwaterkwaliteit-2018>

● Lood

Grondslag norm: gezondheidskundig

Drinkwaterbesluit 2011: maximum waarde 10 µg/l

WHO: richtwaarde 10 µg/l (maximaal, maar zo min mogelijk gewenst)

EG-Drinkwaterrichtlijn 1998: parameterwaarde 10 µg/l

Introductie

Lood (een element met symbool 'Pb') behoort tot de groep van de zware metalen. Het is belangrijk om die stof te meten in drinkwater, omdat die kan oplossen uit leidingen en binneninstallaties. De stof kan dan in dusdanige concentraties in drinkwater voorkomen dat dit gezondheidskundige risico's vormt voor vooral zuigelingen en jonge kinderen [3].

Herkomst

Lood kan van nature in lage concentraties voorkomen in grond- en oppervlaktewater. Verder kan de stof via gebruik door de industrie (bijvoorbeeld verfindustrie) of producten in het oppervlaktewater terecht komen. Door de invoering van loodvrije benzine is de afspoeling van lood vanaf wegen naar de riolering vrijwel tot nul gereduceerd.

Lood vormt vooral een risico in drinkwater, omdat het kan oplossen uit loden aansluitleidingen (en leidingen in binneninstallaties). Sinds 1955 is het gebruik van loden leidingen in Nederland verboden [1].

Toen de WHO in 1993 een aangescherpte waarde in de richtlijn publiceerde, hebben de drinkwaterbedrijven ingezet op een versnelde vervanging van loden aansluitleidingen (die behoren tot de verantwoordelijkheid van de drinkwaterbedrijven). Het aantal werd eind 1997 geschat op ongeveer 3% van de totale lengte aan aansluitleidingen,

De vervanging van loden leidingen in binneninstallaties is een zaak van de eigenaar van een woning of gebouw. Het aantal binneninstallaties met loden leidingen werd destijds door het verantwoordelijke Ministerie geschat op ongeveer 4,5% van het totale aantal. Lodensluit- en binnenleidingen komen bijna uitsluitend voor in woningen die zijn gebouwd vóór 1950. De verantwoordelijke minister had in 2005 als doel dat 80% van alle loden leidingen in binneninstallaties zouden zijn vervangen. Tussen 1999 en 2004 liep er een subsidieprogramma bij de Stichting Loodsanering Drinkwaterinstallaties Nederland.

Ondanks deze kennis en inspanningen kwam lood in 2019 weer in het landelijke nieuws, omdat rapporten van RIVM en de Gezondheidsraad lieten zien dat dat de inname van lood schadelijker was voor de gezondheid dan eerder bekend was. De RIVM-studie bevestigde dat *'mensen woonachtig in oude woningen met loden waterleidingen of in (nieuwbouw)woningen met nieuwe leidingen en/of kranen, wanneer deze niet goed zijn doorgespoeld, in de eerste 6 maanden een te hoge inname van lood kunnen hebben door voedsel en drinkwater'*.

Ook bleek dat er toch nog loden aansluitleidingen waren die niet waren vervangen. Van deze loden aansluitleidingen was de aanwezigheid niet bekend of die waren moeilijk bereikbaar. Het aantal nu nog aanwezige loden aansluitleidingen van de drinkwaterbedrijven is niet bekend. Daarnaast zijn er in bepaalde panden (gebouwen en woningen) nog (delen van) loden leidingen aanwezig. Naar schatting gaat het in Nederland om 100.000 tot 200.000 panden [10].

In nieuwbouwwoningen kan in het begin nog lood vrijkomen, vooral uit sanitaire kranen en bepaalde metalen hulpstukken in de leidingen [4, 5]. Dit fenomeen verdwijnt na een aantal maanden. Tot 2015 kon uit PVC buizen en hulpstukken in beperkte mate lood vrijkomen als gevolg van de toepassing van een bepaald type stabilisator. Volgens afspraak met de kunststofindustrie

wordt dit type stabilisatoren sinds 1 januari 2015 niet meer toegepast voor buizen en hulpstukken voor drinkwater [2].

In 2020 is door de ministers van Binnenlandse Zaken (BZK), Infrastructuur en Waterstaat (IenW) en Volksgezondheid (VWS) een brief naar de Tweede Kamer gestuurd waarin zij hun aanpak van resterende loden drinkwaterleidingen presenteren [9]. De drinkwaterbedrijven nemen extra maatregelen en informeren consumenten, en waterlaboratoria bieden klanten aan om water te testen.

Blootstellingsroutes

Voeding inclusief drinkwater vormt de voornaamste bron van de totale inname van lood [4]. De concentratie lood in de lucht is sinds de introductie van loodvrije benzine steeds lager geworden en hierdoor is de relatieve procentuele inname van lood via drinkwater steeds groter geworden. Drinkwater vormt naar schatting 7% van de loodinname, maar dat is voor flesgevoede zuigelingen relatief veel hoger en deze route is gezondheidskundig ook zeer relevant [4].

Omdat het overgrote deel van lood in drinkwater afkomstig is uit leidingmaterialen in woningen en gebouwen zijn ter plekke genomen maatregelen het meest belangrijk. In woningen waar nog loden leidingen aanwezig zijn, wordt aangeraden om die leidingen te vervangen. Tot die tijd wordt flesvoeding voor baby's en jonge kinderen bij voorkeur bereid met flessenwater [4, 5].

Voor huizen met nieuwe leidingen geldt de eerste drie maanden het volgende advies van het RIVM. Gebruik het water dat 's ochtends de eerste 2 min uit de kraan komt niet voor consumptie [4]. Als dit doorspoeladvies wordt gevolgd, kan de flesvoeding voor baby's en jonge kinderen worden bereid met koud drinkwater en is het niet nodig om dit te bereiden met flessenwater uit de winkel [5]. Voor nieuwe kranen hoeft slechts een kleine hoeveelheid te worden doorspoeld en geldt de eerste drie maanden het volgende advies: elke ochtend de kraan 10 s open zetten, voordat het water voor consumptie wordt gebruikt [4].

De hoeveelheid lood die uit een loden leiding in drinkwater kan oplossen, hangt af van de zuurgraad (pH), temperatuur, hardheid en de periode van stilstand van het water in de leiding. In warm drinkwater met een lage pH-waarde (zuur water) kunnen meer metalen oplossen dan in koud drinkwater met een hoge pH-waarde (basisch water) [1]. De Nederlandse drinkwaterbedrijven behandelen het drinkwater zodanig dat daarin zo min mogelijk metalen uit leidingen oplossen.

Gezondheidskundige betekenis

Een te hoge opname van lood in het lichaam heeft vooral een toxisch effect op nieren, bloed en het centrale zenuwstelsel. Bij concentraties tussen 10 en 30 µg per 100 ml bloed kunnen de eerste neurologische effecten worden gemeten. Dit uit zich in afwijkingen in cognitieve vaardigheden en intelligentie.

Er is geen duidelijke drempelwaarde voor de meest voorkomende gezondheidseffecten van lood [3]. Jonge kinderen nemen lood makkelijker op dan volwassenen. Doordat bij kinderen de hersenen in ontwikkeling zijn, zijn ze extra kwetsbaar voor lood. Lood kan bij kinderen leiden tot verlies van IQ-punten.

Zuigelingen die flesvoeding krijgen, consumeren verhoudingsgewijs per kilogram lichaamsgewicht meer water [5]. Hierdoor kan zich bij deze zuigelingen meer lood in het lichaam ophopen. Ook nemen kinderen procentueel meer lood in het lichaam op dan volwassenen [4]. Het RIVM heeft in een studie in 2019 opnieuw berekend dat drinkwater uit de kraan in huizen met loden leidingen bewoners blootstelt aan meer lood dan wat als veilig wordt beschouwd [12]. Voor baby's die flesvoeding met drinkwater uit deze leidingen krijgen, kan die bijdrage volgens deze studie oplopen tot 80% [12].

In de studie van het RIVM in 2019 wordt onderscheid gemaakt in de verschillende scenario's van blootstelling. Hierin wordt gesteld dat voor volwassenen het gezondheidsrisico via voedsel en drinkwater zeer is laag in het basisscenario (1 µg/l), maar dat voor kinderen een klinisch relevant

effect op de ontwikkeling van het centraal zenuwstelsel door loodinname 'niet kan worden uitgesloten'. In het hoge scenario (35 µg/l) is de loodinname via voedsel en drinkwater zo hoog dat klinisch relevante effecten, naast bij kinderen, ook bij volwassenen niet kunnen worden uitgesloten. Kraanwater draagt in dit scenario substantieel bij aan de totale blootstelling aan lood (tientallen procenten), zodat een verlaging van de loodinname via kraanwater kan bijdragen aan een zinvolle verlaging van de totale loodinname. Bij volwassenen kan verhoogde loodinname wel leiden tot bloeddrukverhoging, nierproblemen, verminderde vruchtbaarheid of een afgebroken zwangerschap [3, 4, 12]. Langdurige blootstellingen zoals die in het geval van loden leidingen, vormen een ongewenst risico voor de gezondheid [12].

Normen en richtlijnen verklaard

Volgens de [Drinkwaterregeling](#) en het [Protocol monitoring & toetsing drinkwaterbronnen KRW](#) geldt er voor lood een (milieu)kwaliteitseis van 30 µg/l voor oppervlaktewater dat is bestemd voor de bereiding van drinkwater.

In 1941 stelde de Gezondheidsraad een grenswaarde voor van maximaal 300 µg/l. In 1958 adviseerde de WHO in de eerste versie van haar aanbevelingen voor drinkwater een grenswaarde voor lood van 100 µg/l. In 1984 werd deze waarde verlaagd naar 50 µg/l. In de aanbevelingen van de WHO in 1993 is de norm voorgesteld van 10 µg/l. Tot 2006 werd een 'interim waarde' van 25 µg/l gehanteerd, waarna die in de EU op 10 µg/l is gesteld.

In de loop van de tijd is de grenswaarde voor lood in drinkwater op basis van nieuw wetenschappelijk onderzoek dus steeds verder verlaagd en zal naar verwachting nog verder worden verlaagd tot 5 µg/l [8]. In Nederland heeft de Gezondheidsraad in 1997 de bevindingen van de WHO bevestigd, waarna via de verantwoordelijke Minister de norm van 10 µg/l lood in drinkwater een wettelijke status heeft gekregen in het [Drinkwaterbesluit](#). In december 2015 hebben de Commissie en het Regionaal Bureau voor Europa van de WHO het 'Samenwerkingsproject inzake drinkwaterparameters' afgerond, waarvan het eindverslag in 2018 is gepubliceerd [8]. In de huidige herziening van de Europese Drinkwaterrichtlijn is dit WHO-verslag meegenomen, waarin voor lood wordt gesteld dat *'dit een van de weinige stoffen is waarvan bekend is dat zij rechtstreekse gevolgen hebben voor de gezondheid via het drinkwater, en dat de gehalten daarom zo laag als redelijkerwijs mogelijk zouden moeten zijn'* [7]. De Europese Commissie stelt daarom voor de waarde tot 5 µg/l te verlagen, met ingang van een datum tien jaar na de inwerkingtreding van de richtlijn, terwijl dan gedurende deze overgangperiode van 10 jaar de huidige waarde van 10 µg/l zal worden gehandhaafd [7].

Lood is opgenomen op de lijst met [Zeer Zorgwekkende Stoffen](#) (ZZS, lood en loodverbindingen).

Aanwezigheid in drinkwater(bronnen) en monitoring

Lood wordt in de praktijk door de drinkwaterbedrijven gemonitord in oppervlaktewaterbronnen, grondwaterbronnen, in drinkwater en in het gedistribueerde drinkwater.

Het tienjarig gemiddelde van de concentratie lood in oppervlaktewater bij de innamepunten voor drinkwater langs de Rijn en de Maas over de afgelopen tien jaar was rond de 1 µg/l. Het gemiddelde per jaar varieert grofweg tussen de 0,8 en 1,3 µg/l ([RIWA](#)).

In grondwater bij winputten voor drinkwater is de vijfjaar gemiddelde lood concentratie 0,04 µg/l ([REWAB](#)).

Lood in drinkwater moet door Nederlandse drinkwaterbedrijven worden gemeten aan het tappunt en in het ruwwater. De concentratie lood in het drinkwater in het leidingnet bedraagt gemiddeld 0,44 µg/l ([REWAB](#)). Over de wijze van monsterneming bij controle van de drinkwaterkwaliteit is nog steeds discussie gaande, mede gezien de discussies rond lood. Zo wordt gerichte monitoring van zogenoemde kindlocaties (scholen en kinderdagverblijven) en in gebouwen van vóór 1960 een meer effectieve benadering geacht om loden leidingen op te sporen.

Zuivering

Lood wordt tijdens de bereiding van drinkwater relatief gemakkelijk verwijderd door conventionele zuiveringsprocessen ([coagulatie](#), [flocculatie](#), [sedimentatie](#), gevolgd door [filtratie](#))

[6], ionenwisselaars, actieve-koolfiltratie (bijvoorbeeld [11]) of membraanfiltratie zoals omgekeerde osmose [13]. Verschillende processen zijn dus effectief in de verwijdering van lood uit water.

Aanvullende informatie

Voor aanvullende informatie over lood in drinkwater verwijst het RIVM [12] naar:

- het drinkwaterbedrijf;
- de plaatselijke GGD/afdeling medische milieukunde;
- het RIVM rapport 'Lood in drinkwater, een GGD-informatieblad medische milieukunde' [4];
- www.kraandoorspoelen.nu;
- www.drinkwater.nu;
- www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/drinkwater.

Referenties

[1] Slaats, P.G.S., Meerkerk, M.A., en Hofman-Caris, C.H.M. (2013): 'Conditionering: de optimale samenstelling van drinkwater; Kiwa-Mededeling 100 – Update 2013', rapport KWR 2013.069, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.

<https://library.kwrwater.nl/publication/51296504/>

[2] Staatscourant (2017): 'Regeling van de Minister van Infrastructuur en Milieu van 12 april 2017, nr. IENM-BSK-2017/55565 tot wijziging van de Regeling materialen en chemicaliën drink- en warm tapwatervoorziening (technische aanpassingen 2017)' van 21 april 2017 ([oorspronkelijke editie](#)), nr. 20932, datum inwerkingtreding 1 juli 2017.

vigerend vanaf 1 juli 2017: [Regeling materialen en chemicaliën drink- en warm tapwatervoorziening](#)

[3] World Health Organization (2017): 'Guidelines for drinking-water quality; Fourth edition incorporating the first addendum', ISBN 978-92-4-154995-0, Geneva.

<https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/254637/9789241549950-eng.pdf;jsessionid=2664217407E6F72C0DD4BA2B94E7D61B?sequence=1>

[4] Dusseldorp, A., Versteegh, J.F.M., Drijver, M., en Janssen, P.J.C.M. (2012): 'Lood in drinkwater; GGD-informatieblad medische milieukunde', RIVM Briefrapport 609400003/2012, RIVM, Bilthoven.

<https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/609400003.pdf>

[5] RIVM (2019): 'Lood in kraanwater soms te hoog', webpagina.

<https://www.rivm.nl/nieuws/lood-in-kraanwater-soms-te-hoog>

[6] Izumi, Y. (2011): 'Effective removal of low concentrations of arsenic and lead and the monitoring of molecular removal mechanism at surface', Advances in Environmental Research, volume 13, pages 173 – 185.

https://www.researchgate.net/publication/326244626_Effective_removal_of_low_concentrations_of_arsenic_and_lead_and_the_monitoring_of_molecular_removal_mechanism_at_the_surface

[7] Europese Unie (2018): 'Voorstel tot de herziening van de Drinkwaterrichtlijn', Proposal for a DIRECTIVE OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL on the quality of water intended for human consumption (recast), Brussel.

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1519210589057&uri=CELEX:52017PC0753>

[8] WHO (2018): 'Drinking Water Parameter Cooperation Project; Support to the revision of Annex I Council Directive 98/83/EC on the Quality of Water Intended for Human Consumption (Drinking Water Directive); Recommendations'.

https://ec.europa.eu/environment/water/water-drink/pdf/20171215_EC_project_report_final_corrected.pdf

[9] Ollongren, K.H., Nieuwenhuizen Wijbenga, C. van, Rijn, M.J. van (2020): 'Acties lood in drinkwater'.

https://www.tweedekamer.nl/kamerstukken/brieven_regering/detail?id=2020Z13116&did=2020D27929

[10] Gezondheidsraad: 'Loodinname via kraanwater', webpagina.

<https://www.gezondheidsraad.nl/documenten/adviezen/2019/11/06/loodinname-via-kraanwater>

[11] Dong, L., Liu, W., Jiang, R., and Wang, Z. (2016): 'Study on the adsorption mechanism of activated carbon removing low concentrations of heavy metals', Desalination and Water Treatment, 57(17), pages 1 – 11.

https://www.researchgate.net/publication/283887855_Study_on_the_adsorption_mechanism_of_activated_carbon_removing_low_concentrations_of_heavy_metals

[12] Boon, P.E., Aa, M. van der, Dusseldorp, A., Janssen, P., Zeilmaker, M.J., en Schulpen, S. (2019): 'Loodinname via kraanwater; Blootstellingsschatting en risicobeoordeling voor diverse risicogroepen', RIVM Briefrapport 2019-0090, RIVM, Bilthoven.

<https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2019-0090.pdf>

[13] Zhang, Y., Feng, Y., Xiang, Q., Liu, F., Ling, C., Wang, F., Li, Y., and Li, A. (2020): 'A high-flux and anti-interference dual-functional membrane for effective removal of Pb(II) from natural water', Journal of Hazardous Materials, volume 384.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304389419314463>

● Mangaan

Grondslag norm: organoleptisch/esthetisch, deels bedrijfstechnisch

Drinkwaterbesluit 2011: maximum waarde 50 µg/l

WHO 2022: voorlopige richtwaarde 80 µg/l

EU-Drinkwaterrichtlijn 2020: parameterwaarde 50 µg/l

Herkomst

Mangaan is een van de meest voorkomende elementen in de bodem en komt vaak samen met ijzer, ammonium en methaan voor. Deze componenten kunnen oplossen in zuurstofloos water; verwijdering van de stoffen gebeurt door toevoeging van zuurstof gevolgd door flocculatie en zandfiltratie. Mangaan wordt veelal gebruikt voor de productie van ijzer, staal en andere legeringen en komt voor in gebruiksvoorwerpen zoals batterijen en glas, en ook in vuurwerk. Mangaan is van nature aanwezig in de lucht, maar als gevolg van industriële activiteiten kunnen de concentraties in geïndustrialiseerde gebieden hoger zijn [1].

Blootstellingsroutes

Inname van mangaan gebeurt veelal via voedsel zoals vlees, vis, eieren en zuivelproducten, waarbij de hoeveelheid varieert van 0,02 tot 4 mg/kg. Nog hogere gehalten worden gevonden in groenten, granen en noten, variërend van 0,41 tot 47 mg/kg. Een kopje thee kan 0,4 tot 1,3 mg mangaan bevatten. Naar schatting ligt de totale dagelijkse inname van mangaan in Nederland tussen de 2 en 10 mg per dag [1]. De bijdrage van drinkwater aan de totale dagelijkse inname van mangaan is gering, gezien de maximum waarde van 50 µg/l voor drinkwater.

Gezondheidskundige betekenis

Mangaan is een essentieel element voor de mens. De dagelijkse behoefte wordt geschat op 1,8 tot 3 mg. De dagelijkse inname voor volwassenen in Nederland is ongeveer 2 tot 10 mg. Tot op heden is er geen bewijs dat mangaan via orale inname giftig is voor de mens. Bij zeer hoge orale doses zijn wel effecten op de hersenen waargenomen. Deze neurotoxische effecten zijn eveneens waargenomen bij de inhalatie van mangaan-houdende stofdeeltjes [1]. Bij een inname van 20 mg per dag worden nog geen ziekteverschijnselen waargenomen.

Alhoewel de concentraties mangaan in drinkwater geen gevaar voor de gezondheid opleveren, kan de aanwezigheid van colloïdaal of 'particulate' mangaandioxide problemen geven voor de consument en de drinkwaterbedrijven. Een concentratie boven de 150 µg/l geeft aan het drinkwater een ongewenste smaak en kan wasgoed en leidingmaterialen doen verkleuren. Door de aanwezigheid van mangaan kan de groei van bacteriën en andere organismen in het leidingnet worden bevorderd, waardoor weer andere geur- en smaak-bezwaren, en troebeling kunnen worden veroorzaakt. Al bij concentraties onder de 20 µg/l kan mangaan zich afzetten in het leidingnet en weer loskomen als een zwarte neerslag [2].

Normen en richtlijnen verklaard

Ondanks de grote hoeveelheid toxicologisch onderzoek naar de effecten van mangaan op de gezondheid is er te weinig informatie voorhanden voor het vaststellen van een richtlijnwaarde. De WHO heeft daarom een voorlopige gezondheidskundige richtlijnwaarde voor drinkwater afgeleid. Deze bedraagt op basis van studies met ratten 80 µg/l [1].

De WHO geeft tevens aan dat bij waarden hoger dan 100 µg/l verkleuring van wasgoed en sanitair kan optreden en dat concentraties lager dan 50 µg/l al aanleiding kunnen geven tot klachten over geur en smaak. [3].

Aanwezigheid in drinkwater(bronnen) en monitoring

De parameter mangaan moet volgens de Drinkwaterregeling in het ruwe water worden gemeten en in het drinkwater aan het tappunt.

In zowel ruw oppervlaktewater als ruw grondwater wordt mangaan in 97% van de meetlocaties aangetroffen. De mediaanconcentratie bedraagt in ruw oppervlaktewater 64 µg/l. In ruw grondwater is dit 117 µg/l. Het maximum gemeten concentratie in ruw oppervlaktewater ligt door de jaren heen tussen de 348 en 530 µg/l. In ruw grondwater is dit tussen de 1.420 en 1.580 µg/l.

Tussen 2015 en 2020 wordt mangaan in drinkwater in ongeveer 41% van de locaties aangetroffen als de bron oppervlaktewater is. Dit percentage neemt iets toe met de jaren. Dit zou kunnen zijn veroorzaakt door een verlaagde rapportagegrens. Die is over de jaren verlaagd van 10 µg/l naar 0,4 µg/l. Voor locaties met grondwater als bron is dit percentage lager: circa 27% van de locaties. De mediaanconcentraties liggen zowel voor oppervlaktewater als grondwater als bron elk jaar onder de rapportagegrens. Maximale concentraties lopen op tot 50 µg/l in 2019 voor drinkwater met oppervlaktewater als bron. Voor grondwater als bron is dit hoger: tussen de 78 en 107 µg/l met een uitschieter van 897 µg/l in 2015.

Zuivering

IJzer en mangaan slaan na oxidatie door zuurstof neer als vaste stof (ijzer- en mangaanoxiden) op het filtermateriaal in een snelfilter, soms met een pH-correctie. Bij de oxidatie van mangaan werken gevormde en op het filtermateriaal neergeslagen oxides als katalysator [5]. Uit onderzoek is gebleken dat ontijzering en ontmanganing het best beheersbaar zijn als deze processen gescheiden plaatsvinden. Door het creëren van de juiste condities voor ieder proces kan de productielocatie zo robuust en goedkoop mogelijk functioneren. Scheiding van de processen kan bij lage pH en afwezigheid van methaan plaatsvinden door een dubbele filtratiestap met tussenin een pH-correctie. Dit vindt voornamelijk bij de behandeling van grondwater plaats. Een andere mogelijkheid is de ontijzering ondergronds uit te voeren en de ontmanganing bovengronds [4].

Mangaan in oppervlaktewater zal tijdens de coagulatie/flocculatie/snelfiltratie stappen worden verwijderd [5].

Referenties

- [1] WHO. (2021). Manganese in Drinking-water. Background document for development of WHO *Guidelines for Drinking-water Quality*. WHO/HEP/ECH/WSH/2021.5. WHO, Geneva.
- [2] Van Dijk-Looijaard, A.M. (1993). Herziening Normen Waterleidingbesluit. SWO 92.294. KIWA, Nieuwegein.
- [3] WHO. (2022). Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first and second addenda. WHO, Geneva.
- [4] de Jonge, M., Schoonenberg, F., Vries, D., Hartog, N. IJzer- en mangaanverwijdering bij bereiding van drinkwater uit grondwater: praktijk en modellering. H₂O online 14 maart 2018. STOWA Hydrotheek 2238030.
- [5] Moel P. de, Verberk J., van Dijk J.C.: (2006) Drinkwater: principes en praktijk. World Scientific Publishing Co., (2006), 1-413.

● Melamine

Grondslag norm: indicator

Drinkwaterbesluit 2011 (overige antropogene stoffen): maximum waarde 1 µg/l

WHO: geen richtwaarde

EG-Drinkwaterrichtlijn 1998: geen parameterwaarde

Introductie

Melamine is voor het eerst gesynthetiseerd in het begin van de 19^e eeuw in Duitsland. Sinds het begin van de 20^e eeuw wordt het op industriële schaal geproduceerd. De wereldwijde productie bedraagt jaarlijks circa 1,25 miljoen ton. De grootste producent is OCI-Nitrogen in Geleen (Chemelot-terrein) met een jaarproductie van ongeveer 160.000 ton [7]. Melaminekunstharsen zijn slijt- en kleurvast, waterafstotend en (vanwege het hoge stikstofgehalte) brandvertragend. Allemaal zeer gewenste eigenschappen voor een breed scala aan producten. Verreweg het grootste gedeelte van de geproduceerde melamine (75%) wordt gebruikt ten behoeve van de houten plaatindustrie. In deze bedrijfssector vindt grootschalige toepassing plaats van melamineformaldehyde (MF) hars. Vanwege de hierboven genoemde eigenschappen, maar ook omdat MF hars kan binnendringen in de vezels van diverse houtsoorten.

Herkomst

De stof melamine ($C_3H_6N_6$) wordt in grote hoeveelheden gebruikt in de industrie bij de productie van onder andere laminaat, plastic, coatings, servies en kleefmiddelen. Ook wordt het gebruikt als tussenproduct in de geneesmiddelenindustrie en als brandvertrager. Omdat de productie van melamine samengaat met een hoog waterverbruik, zijn productiebedrijven vaak aan oppervlaktewater gesitueerd [7]. Bij die productie wordt er gewassen met water, gekristalliseerd, gecentrifugeerd en gedroogd, waardoor er een afvalstroom ontstaat die deels in het oppervlaktewater terecht komt, al dan niet via een AWZI [2, 7]. Aan de Rijn (BASF) en Main (INEOS) wordt grootschalig melamine geproduceerd en/of verwerkt. Voor de Maas (Wallonië/Frankrijk) zijn dergelijke grote puntbronnen op dit moment niet inzichtelijk, maar bij Eijsden wordt wel melamine in het Maaswater aangetroffen [7]. In Nederland wordt grootschalig melamine geproduceerd door OCI-Nitrogen, die haar afvalwater via een voorzuivering bij de fabriek en de AWZI van Sitech loost op de Maas bij Geleen. Mogelijk zijn ook diffuse bronnen van belang. Hiervoor is meer inzicht noodzakelijk in de mate van uitloging van melamine(derivaten) uit producten. In eerste instantie uit melamineservies, wondersponzen en slijtage van autobanden [7].

Blootstellingsroutes

Blootstelling aan melamine is het meest waarschijnlijk via voedsel, met als bron servies en verpakkingen [6]. Melamine kan ook in voedsel voorkomen als afbraakproduct van cyromazine, een gewasbeschermingsmiddel en diergeneesmiddel. Ook het gebruik als vlamvertragingsmiddel kan leiden tot het vóórkomen van residuen in voedsel. Via drinkwater kunnen mensen zeer lage concentraties melamine binnenkrijgen.

In september 2008 kwam een groot melamineschandaal in China aan het licht. Het werd duidelijk dat ongeveer 53.000 Chinese baby's naar het ziekenhuis waren gebracht of nierstenen hadden gekregen door het consumeren van melkpoeder dat was verontreinigd met grote hoeveelheden melamine. Dit was illegaal toegevoegd om het gehalte aan eiwitten groter te doen lijken [2]. Routineanalyses kijken namelijk uitsluitend naar de totale hoeveelheid organisch stikstof en dat zit zowel in melamine als in eiwitten. Uiteindelijk zijn er zes baby's overleden en meer dan 300.000 kinderen zijn ziek geworden als gevolg van de toegevoegde melamine. Op 24 november 2009

werden twee ter dood veroordeelde handelaren geëxecuteerd in verband met het misbruik van melamine.

Minder bekend bij het Nederlandse publiek is de 'Melamine Pet Food Recall of 2007' in de Verenigde Staten. In maart 2007 constateerde de Food and Drug Administration (FDA) melamine-verontreinigingen in plantaardige eiwitten die vanuit China naar de Verenigde Staten waren ingevoerd als ingrediënten voor huisdierenvoeding. Het leidde tot een van de grootste terugroepacties ooit en een groot aantal dode katten en honden (mogelijks zelfs tot 39.000) [7].

Gezondheidskundige betekenis

Naar aanleiding van het incident met melamine in China (zie boven) is veel nieuw onderzoek uitgevoerd, onder meer naar de toxiciteit van melamine en analoge organische structuren. Melamine kan onoplosbare complexen vormen met bepaalde, structuurverwante zuren (zoals cyanuurzuur of endogeen urinezuur), waardoor kristallen kunnen worden gevormd in (pre)urine en die nierschade kunnen veroorzaken. Melamine heeft een lage acute toxiciteit. Regelmatig zeer hoge concentraties melamine innemen, kan ernstige schade veroorzaken aan de nieren, omdat melamine door absorptie in de bloedbaan zich kan ophopen in de nierbuisjes waar het uitkristalliseert [2]. Dit effect trad op in China.

Bij de vervaardiging van melamine op relatief hoge temperaturen wordt ook cyanuurzuur gevormd, dat samen met melamine de giftigheid bij inname vergroot [7]. De aanwezigheid van cyanuurzuur kan kristalvorming bevorderen, waardoor melamine schadelijker wordt [3].

Of melamine kanker veroorzaakt, is niet duidelijk. In dieren is er voldoende bewijs, maar om dit te kunnen vaststellen voor mensen is er te weinig bewijs [6]. Bij dieren gaat het om kanker aan de urinewegen.

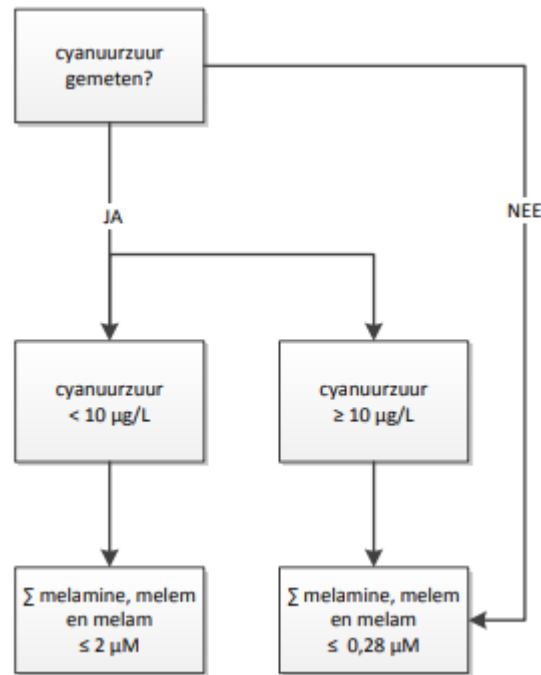
Aangezien (kleine) kinderen een kwetsbare groep vormen voor de gezondheidskundige gevolgen van de inname van melamine is de voorlopige richtwaarde (zie hieronder) gebaseerd op deze groep. Met een dergelijke richtwaarde zijn dan ook oudere kinderen en volwassenen beschermd.

Normen en richtlijnen verklaard

Deze stof valt onder de 'overige antropogene stoffen' uit het [Drinkwaterbesluit](#) en de [Drinkwaterregeling](#) waarvoor als signaleringsparameter de maximum waarde van 1 µg/l geldt. Bij een overschrijding is er geen direct risico voor de volksgezondheid, maar zal er nader onderzoek plaatsvinden.

In 2018 is voor melamine door het [RIVM](#) een indicatieve drinkwaterrichtwaarde van 35,3 µg/l afgeleid, omdat overschrijding van de signaleringsparameter van 1 µg/l werd geconstateerd op een tweetal innamepunten ten behoeve van drinkwater. Het advies van het RIVM is gebruikt door ILT voor een tijdelijke ontheffingswaarde van 5 µg/l. De extra veiligheidsfactor van 10 is toegepast vanwege de verhoogde toxiciteit van melamine in aanwezigheid van cyanuurzuur. Deze waarde is door de industrie ter discussie gesteld vanwege de mogelijke consequenties voor de vergunningverlening van industriële lozingen [1].

De richtwaarde geldt voor de som van de concentraties van de stoffen melamine, melem en melam [1]. Uit de beoordeling konden twee drinkwaterrichtwaarden worden afgeleid: 35 µg/l als er cyanuurzuur aanwezig is en 350 µg/l als er geen cyanuurzuur aanwezig is [1]. In de memo van het RIVM staat een informatief schema, zie onder.



Figuur uit de RIVM-memo 'Beleidsmatig vaststellen indicatieve drinkwaterrichtwaarde voor melamine' [1].

Aanwezigheid in drinkwater(bronnen) en monitoring

EFSA en WHO geven in de rapportages geen berekeningen voor de blootstelling aan melamine aanwezig in drinkwater. Pas vanaf 2016 is er een analysemethode beschikbaar om melamine te kunnen meten. De stof is door de drinkwaterbedrijven die oppervlaktewater als grondstof hebben, opgenomen in het reguliere meetprogramma en deze bedrijven meten ook in het geleverde drinkwater.

In de RIVM-memo [1] zijn de concentraties melamine genoemd op de twee drinkwaterproductielocaties van Evides Waterbedrijf van respectievelijk 1,6 µg/l en 2,0 µg/l, die aanleiding gaven voor de afleiding van de voorlopige richtwaarde (50 µg/l). De gemiddelde concentratie melamine bij de innamepunten van de Rijn en Maas voor drinkwater bedroeg in de afgelopen vijf jaar circa 1,2 µg/l ([RIWA](#)). Jaarlijks wordt de [signaleringswaarde](#) voor melamine op (bijna) alle meetlocaties regelmatig overschreden.

Melamine in de Maas haalde in 2016 het landelijk nieuws, omdat de concentratie in het water van de Maas voor drinkwaterbedrijf WML te hoog was om dat water te kunnen innemen voor de bereiding van drinkwater. De Minister van Infrastructuur en Milieu verleende een ontheffing [7], omdat de [signaleringswaarde](#) op basis waarvan de inname werd gestopt onder de risicogrens lag, zie ook hierboven.

Het grondwater van sommige winputten wordt vanaf 2017 gecontroleerd op het vóórkomen van melamine. De gemeten concentraties zijn op deze locaties altijd lager dan de detectiegrens ([REWAB](#)).

In drinkwater uit oppervlaktewater wordt melamine vanaf 2016 gemeten met concentraties van gemiddeld 0,7 µg/l ([REWAB](#)).

Zuivering

Melamine wordt in de zuivering bij de bereiding van drinkwater slecht verwijderd. Dit is bijvoorbeeld aangetoond in een onderzoek aan meerdere stoffen waarbij melamine de enige stof was die nauwelijks verwijdering liet zien door [geavanceerde oxidatie](#) (de combinatie van ozon en waterstofperoxide) en [UV-waterstofperoxide](#), en enige verwijdering door de combinatie van [ultrafiltratie](#) (UF) en [omgekeerde osmose](#) (RO) (63%) en de combinatie van [UV-waterstofperoxide](#) en [actieve-koolfiltratie](#) (52%) [8]. Ook uit afvalwater is melamine slecht te verwijderen. Hoge concentraties melamine hebben daarbij een negatieve impact op de biologische afvalwaterbehandeling (verminderde verwijdering van stikstof en fosfor) [4]. Behandeling van melamine met actief slib blijkt meer plaats te vinden door adsorptie dan door biodegradatie [4]. Er zijn studies die aantonen dat melamine kan worden omgezet tot kooldioxide en ammoniak door ten minste twee bacteriestammen (*Pseudomonas* stam A en *Klebsiella terrigena*) [5]. Het is niet bekend of deze of verwante stammen ook in de zuivering van Nederlandse drinkwaterbedrijven een rol spelen en zo ja, in welke zuiveringsstap ([zandfiltratie](#), [bodempassage](#), [actieve-koolfiltratie](#)) en onder welke omstandigheden.

Aanvullende informatie

Zie de RIVM-website Risico van Stoffen: [melamine | | Risico's van stoffen \(rivm.nl\)](#)

Referenties

[1] Smit, C.E. (2019): 'Beleidsmatig vaststellen indicatieve drinkwaterrichtwaarde voor melamine', memo van 25 januari 2019, RIVM, Bilthoven.

https://rvs.rivm.nl/sites/default/files/2019-03/SG2019-02_procent20Memo_procent20drinkwater_procent20richtwaarde_procent20melamine_0.pdf

[2] Wikipedia <https://nl.wikipedia.org/wiki/Melamine>

[3] Smit, C.E. (2019): 'Water quality standards for melamine; A proposal in accordance with the methodology of the Water Framework Directive', RIVM Letter report 2018-0077, RIVM, Bilthoven.

[4] An, H., *et al.* (2017): 'The behavior of melamine in biological wastewater treatment system', Journal of Hazardous Materials, volume 322, part B, pages 445 – 453.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389416309347>

[5] WHO (2009): 'Background Paper on the Chemistry of Melamine Alone and in Combination with Related Compounds', Geneva.

https://www.who.int/foodsafety/fs_management/Melamine_2.pdf

[6] International Agency for Research on Cancer (2019): 'Some Chemicals That Cause Tumours of the Urinary Tract in Rodents', IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Volume 119, Lyon.

<https://publications.iarc.fr/publications/media/download/5722/be54378b09f7c8f559e7a529f6947cf8aa0515a6.pdf> (zie ook <http://publications.iarc.fr/575>)

[7] Berg, C. van den (2019): 'Melamine en cyaanurzuur; Potentiële bedrijfslozingen in Nederland', Arcadis Nederland B.V., 's-Hertogenbosch

https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=4&ved=2ahUKEwi6mqG7hKTmAhWDZVAKHQ6JAZMQFjADegQIBRAC&url=https%3A%2F%2Fwww.helpdeskwater.nl%2Fpublish%2Fpages%2F158977%2Fstudie_bedrijfslozingen_melamine_en_cyaanurzuur_in_nederland.pdf&usq=AOvVaw1mMzKlo6ea4EulFTWMCBf9

[8] Brunner, A.M., *et al.* (2020): 'Integration of target analyses, non-target screening and effect-based monitoring to assess OMP related water quality changes in drinking water treatment', Science of the Total Environment, volume 705, art. no. 135779

[Integration of target analyses, non-target screening and effect-based monitoring to assess OMP related water quality changes in drinking water treatment - ScienceDirect](#)



● Microcystine-LR

Grondslag norm: gezondheidkundig

Drinkwaterbesluit 2011: maximum waarde 1,0 µg/l (Opmerkingen: 'Deze parameter moet alleen worden gemeten in geval van potentiële bloei in bronwater (stijgende dichtheid van cyanobacteriële cellen of bloeipotentieel)' en 'Deze norm wordt van kracht op 12 januari 2026')

*WHO 2022: voorlopige richtwaarde levenslange blootstelling 1 µg/l
voorlopige richtwaarde kortdurende blootstelling 12 µg/l*

EU Drinkwaterrichtlijn 2020: parameterwaarde 1,0 µg/l (Opmerking: 'Deze parameter moet alleen worden gemeten in geval van potentiële bloei in bronwater (stijgende dichtheid van cyanobacteriële cellen of bloeipotentieel)')

Herkomst

Microcystines zijn natuurlijk voorkomende toxines die worden geproduceerd door verschillende soorten cyanobacteriën (blauwalgen), voornamelijk in zoete oppervlaktewateren. Begin jaren tachtig van de vorige eeuw zijn microcystines voor het eerst geïsoleerd uit *Microcystis aeruginosa* en er vervolgens naar vernoemd en op basis daarvan beschreven. Cyanobacteriën komen wereldwijd voor en dan met name de volgende geslachten: *Microcystis*, *Anabaena*, *Planktothrix* en *Dolichospermum* [1].

Er zijn meer dan 270 soorten microcystines bepaald [2], maar slechts enkele soorten komen frequent voor in hoge concentraties. Gewoonlijk zijn de microcystines gebonden in de cel en komen pas in het water terecht als de cel kapotgaat. Een van de meest voorkomende microcystines en tevens een van de meest bestudeerde is microcystine-LR [1].

Microcystines zijn cyclische heptapeptides, wat betekent dat ze uit een ring van zeven aminozuren bestaan. Vijf niet in eiwitten voorkomende aminozuren vormen de basis, terwijl twee eiwitaminozuren gevarieerd kunnen voorkomen. In microcystine-LR zijn twee van de ingebouwde aminozuren arginine (R) en leucine (L) [3]. Dankzij hun ringstructuur zijn microcystines zeer stabiel in water bij hoge en lage temperaturen [1]. Nodularines (genoemd naar de cyanobacterie *Nodularia spumigena*) zijn cyclische pentapeptides en lijken qua structuur en werking sterk op de microcystines. Er zijn 10 varianten van bekend [4].

De groei van cyanobacteriën wordt gestimuleerd door hoge concentraties aan nutriënten (fosfaat, stikstof) in stilstaande, wat troebelere wateren bij hoge(re) temperaturen van oppervlaktewater en kan leiden tot een zeer hoge biomassa in het water (bloei), uiteindelijk vaak leidend tot drijfslagen (opbouw van biomassa aan het wateroppervlak) van bijvoorbeeld *Microcystis*, *Anabaena* en *Dolichospermum*. Zulke drijfslagen kunnen snel ontstaan en hebben een variabele duur (uren tot weken) [5].

Blootstellingsroutes

In Nederland is recreatief gebruik van water de voornaamste blootstellingsroute voor microcystine-LR en andere cyanotoxines [6, 22]. Met name bij het zwemmen in water met een bloei en/of een drijfslag van cyanobacteriën kan een schadelijke blootstelling plaatsvinden, afhankelijk van blootstellingsduur en dichtheid van de cyanobacteriën [3]. Huidirritatie, diarree en misselijkheid lijken tamelijk algemeen voor te komen na contact met cyanobacteriën tijdens het zwemmen, maar vaak is achteraf moeilijk onderscheid te maken tussen verschillende mogelijke oorzaken [3].

In specifieke gevallen met een (zeer) hoge blootstelling aan cyanobacteriën kan zeer ernstige ziekte of zelfs overlijden optreden. Zo zijn er aanwijzingen dat consumptie van cyanobacteriën in de zomer van 2002 een 17-jarige jongen in Wisconsin (VS) fataal is geworden, nadat hij samen met vier vrienden verkoeling had gezocht in een vijver nabij een golfterrein. Drie van de vijf tieners ontwikkelden lichte symptomen, maar de twee die een ferme slok water hadden binnengekregen,

ontwikkelde heftige symptomen zoals misselijkheid, overgeven en diarree. Een van hen overleed 48 uur na contact met en consumptie van cyanobacteriën. Onderzoek toonde aan dat beiden waren blootgesteld aan *Dolichospermum flos-aquae* en het door deze soort geproduceerde neurotoxine anatoxine-a [3].

In 1989 werden in Engeland 20 soldaten onderworpen aan een zwem- en kano-training in een meer met een dichte *Microcystis*-bloei. De helft werd behoorlijk ziek (diarree, overgeven, buikpijn, keelpijn, zwerende lippen) en twee moesten met longontsteking (toegeschreven aan inademing van toxines) worden opgenomen in het ziekenhuis. Het bleek dat degenen die het slechtst konden zwemmen en het meeste water hadden binnengekregen ook het ziekst waren geworden [3]. Uit onderzoek naar microcystines in drijfslagen van stadswateren in Zuidoost-Nederland bleek dat door een enkele slok hiervan een kind de maximaal toelaatbare inname al tientallen tot duizendmaal kan overschrijden, waardoor er sprake is van een reëel risico op permanente schade en een hoog gezondheidsrisico [3].

Ernstige gezondheidseffecten bij mensen zijn niet snel te verwachten na recreatieve blootstelling aan met blauwalgen verontreinigd water, doordat de meeste mensen terughoudend zijn met zwemmen in en zeker met drinken van troebel en stinkend water. Het gevaar van blauwalgen in de Nederlandse situatie lijkt vooral te schuilen in drijfslagen, die door de wind in de zwemzone van recreatieplassen kunnen terechtkomen [3]. Dit wordt gemonitord in zwemwater en zo nodig wordt gewaarschuwd, maar dit geldt niet in het algemeen voor oppervlaktewater waarin (steeds meer) wordt gezwommen.

Dieren zijn minder terughoudend dan mensen bij het drinken van stinkend en troebel water, en zullen daardoor makkelijker een toxische dosis innemen. Daardoor zijn er veel gevallen bekend van sterfte bij vee, honden, vogels en andere dieren die water met cyanobacteriën hebben gedronken. In Nederland zijn bijvoorbeeld de massale vogelsterfte in het Volkerak-Zoommeer in 2002, de vis- en vogelsterfte in de Romeinenweerd in 2003 en de eenden-sterfte in de Rhederlaag in 2005 in verband gebracht met cyanotoxines [3]. In het voorjaar van 2011 zijn 4 honden doodgegaan en 10 ziek geworden na zwemmen in het IJmeer. De honden vertoonden symptomen die wezen op vergiftiging door neurotoxines. Op die plek werden verdachte vlokken en klontjes draadvormige blauwwieren (*Phormidium* sp.) gevonden die hoge concentraties neurotoxine bleken te bevatten. Deze vlokken waren afkomstig van blauwwiermatten op de bodem, die op verschillende plaatsen in het IJmeer voorkomen. Hetzelfde materiaal werd vervolgens eveneens aangetroffen in de maag van een van de dode honden [7]. In het buitenland zijn ook verschillende gevallen beschreven van hondensterfte als gevolg van het binnenkrijgen van *Phormidium* of *Tychonema* [8].

Voedingssupplementen op basis van cyanobacteriën (*Spirulina* en *Aphanizomenon*) kunnen cyanotoxines bevatten. Omdat er hierbij vaak natuurlijk materiaal wordt gebruikt, is verontreiniging met microcystine producerende cyanobacteriën mogelijk en de gebruikte cyanobacteriën zijn soms zelf in staat tot productie van cyanotoxines. In vrijwel alle daartoe onderzochte voedingssupplementen met cyanobacteriën is microcystine aangetoond, waarbij in ruim 70% van de monsters de richtlijn van de WHO [5] werd overschreden, wat kan leiden tot vergiftiging [1, 3].

De chemische bestrijding van de groei van cyanobacteriën kan grote problemen veroorzaken, ook omdat eenvoudige zuiveringsmethoden het vrijgekomen toxine niet uit het water kunnen verwijderen [6].

Soorten cyanotoxines

Nast de microcystines kunnen cyanobacteriën nog andere soorten, soms zeer krachtige toxines produceren: nodularines, neurotoxines, cytotoxines, en polysacchariden. Voor sommige is door de WHO een maximale waarde voor blootstelling vastgesteld.

Neurotoxines

Neurotoxines zoals anatoxine-a, homoanatoxine-a en saxitoxines beïnvloeden de overdracht van signalen tussen zenuwcellen met als gevolg een overstimulatie en verkramping van de spieren wat kan resulteren in een ademhalingsstilstand [3]. Deze krachtige neurotoxines worden door verschillende geslachten van cyanobacterie geproduceerd, zoals *Oscillatoria*, *Anabaena* en *Aphanizomenon*. Saxitoxines worden ook door sommige soorten dinoflagellaten (in zoutwater levende microalgen) geproduceerd. Schelpdieren die zich met deze algen voeden, concentreren het gif en door het consumeren van dergelijke schelpdieren kunnen mensen en dieren die hoger in de voedselketen staan, worden vergiftigd. Het syndroom heet 'paralytic shellfish poisoning' (PSP) [9].

De WHO heeft geen voorlopige richtwaarde voor anatoxines in drinkwater kunnen afleiden, omdat er onvoldoende betrouwbare data zijn gepubliceerd. Wel heeft de WHO een referentiewaarde voor kortstondige blootstelling aan anatoxine-a vastgesteld: 30 µg/l voor volwassenen en 6 µg/l voor baby's en kinderen [5].

Voor de totale concentratie aan saxitoxines heeft de WHO een richtwaarde vastgesteld van 3 µg/l voor kortstondige blootstelling aan zuigelingen. Voor volwassenen is een zesmaal hogere waarde acceptabel [5].

Cytotoxines

Hiertoe behoren cylindrospermopsine en deoxy-cylindrospermopsine die de eiwitsynthese remmen en daardoor weefselsterfte (necrose) in lever, nieren, milt en longen veroorzaken. Deze toxines zijn bovendien genotoxisch (kan tot DNA-schade leiden) [3]. Deze toxines worden onder meer geproduceerd door de geslachten cyanobacteriën *Raphidiopsis* (voorheen *Cylindrospermopsis*), *Aphanizomenon* en *Chrysothrix* [5]. De WHO heeft een voorlopige richtlijn vastgesteld voor cylindrospermopsine van 0,7 µg/l voor levenslange blootstelling en van 3 µg/l voor kortstondige blootstelling [5].

Lipopolysacchariden

Alhoewel het geen echte toxines zijn, worden de polysacchariden altijd besproken in cyanotoxine-overzichten. Polysacchariden vormen de belangrijkste component van de buitenste celwand van cyanobacteriën (en bijna alle Gram-negatieve bacteriën) en veroorzaken irritaties (voornamelijk aan de huid, maar ook aan de ogen) en ze kunnen koortsverwekkend zijn [10].

Er is geen bewijs dat cyanotoxines in de voedselketen ophopen (biomagnificatie) [5]. Er is eerder sprake van bioverdunding dan van bio-magnificatie [11]. Kortstondige blootstelling aan cyanotoxines via voedsel lijkt laag te zijn, tenzij ook de ingewanden en lever van (kleine) vissen, kreeften en schelpdieren uit wateren met een hoge dichtheid aan cyanobacteriën worden geconsumeerd [11]. Deze blootstellingsroute varieert aanzienlijk en is afhankelijk van lokale omstandigheden [1].

Microcystines zijn niet vluchtig, waardoor de blootstelling via de ingeademde lucht slechts in zeer bijzondere gevallen een rol speelt. Voorbeelden hiervan zijn verneveling van oppervlaktewater door sproeiers voor beregening in de landbouw, waterskiën, wakeboarden of varen met zeer snelle boten met een grote hekgolf [8].

Gezondheidskundige betekenis

Microcystines worden in het lichaam opgenomen via een transporteiwit dat met name in de darm en lever actief is. Daar kunnen dan schadelijke effecten optreden. In de cellen remmen de microcystines enzymen die een rol spelen bij het in stand houden van het cytoskelet met als gevolg dat de cel uiteindelijk afsterft. Een hoge acute dosis microcystine leidt tot beschadiging van de met bloed gevulde ruimtes in de levercellen (sinusoïden), waardoor bacteriën en andere lichaamsvreemde stoffen niet meer worden tegengehouden en ook bloedverlies (hemorragie) optreedt [5].

Verschillende incidenten in de afgelopen 50 jaar (wereldwijd) hebben geleid tot een groeiend besef dat cyanotoxines een ernstig risico voor de volksgezondheid kunnen vormen [6].

In Brazilië werd bij een nierdialysecentrum water gebruikt dat cyanotoxines (microcystines) bevatte. 117 van de 136 patiënten werden ziek en hiervan kwamen 50 patiënten uiteindelijk te overlijden [13]. In 1979 moesten in Australië 140 kinderen en 10 volwassenen met

leveraandoeningen worden opgenomen in het ziekenhuis, nadat een bloei van cyanobacteriën met kopersulfaat was bestreden na klachten over een slechte geur en smaak van het drinkwater. De epidemie brak uit toen het water met de afgestorven cyanobacteriën werd gebruikt voor de drinkwatervoorziening. De meest waarschijnlijke veroorzaker was *Raphidiopsis* (voorheen *Cylindrospermopsis*) *raciborskii* [12]. Mede uit dit voorval is gebleken dat chemische bestrijding van cyanobacteriegroei grote problemen kan veroorzaken, ook omdat eenvoudige zuiveringsmethoden het vrijgekomen toxine niet uit het water kunnen verwijderen [6].

Naast acute toxiciteit kan ook langdurige blootstelling aan lagere concentraties microcystines leiden tot gezondheidsproblemen zoals (lever)kanker. In China is de gemiddelde kankerincidentie ongeveer de helft van die in Australië. Leverkanker komt in China echter ongeveer 10 maal zoveel voor dan in Australië, met duidelijke regionale verschillen. Zeer waarschijnlijk hangt deze plaatselijk verhoogde incidentie van leverkanker samen met de aanwezigheid van cyanotoxines in het drinkwater uit ondiepe sloten en putten [6, 12].

Vooralsnog leiden de meest gangbare soorten cyanobacteriën (en hun toxines) in Nederland 'slechts' (doorgaans 'hoogstens') tot misselijkheid en huiduitslag bij mensen die hiermee bij het zwemmen in oppervlaktewater werden besmet [6].

Normen en richtlijnen verklaard

De huidige voorlopige WHO-richtlijn voor microcystines geldt voor het totaal aan microcystines in drinkwater, maar is gebaseerd op de toxiciteit van één toxine uit deze groep, namelijk microcystine-LR. Dit microcystine is veel voorkomend en een van de meest toxische microcystine-varianten. Het betreft een voorlopige richtlijn, omdat er nog grote onzekerheid is over de toxiciteit in de beperkte database. Dit betreft met name de beperkte data over chronische toxiciteit, voortplantingstoxiciteit en kankerverwekkendheid [5].

De voorlopige richtlijn voor het maximaal toelaatbare concentratie microcystine in drinkwater bedraagt 1 µg/l bij levenslange blootstelling. De waarde is gebaseerd op een NOAEL (No Observed Adverse Effect Level) van 40 µg/kg/dag. De maximaal toelaatbare concentratie is gebaseerd op dagelijkse inname van 2 l drinkwater, een lichaamsgewicht van 60 kg, een bijdrage via drinkwater van 80% en een veiligheidsfactor van 1.000. De factor 1.000 wordt gebruikt om alle onzekerheden (vermoedelijk van een beperkte dataset) te verdisconteren en om de vertaalslag te maken van dierproeven naar effecten op mensen.

De voorlopige richtwaarde voor acute toxiciteit bedraagt 12 µg/l. Hierbij is uitgegaan van 100% bijdrage via drinkwater. Beide richtwaarden gelden voor volwassenen. De WHO raadt aan om uit voorzorg zuigelingen en kleine kinderen een alternatief voor drinkwater te bieden als de concentratie microcystines daarin meer dan 3 µg/l bedraagt. Deze waarde geldt ook voor kortstondig gebruik [5].

De Europese Drinkwaterrichtlijn heeft de voorlopige richtwaarde van 1 µg/l van de WHO overgenomen en in navolging daarvan is dit ook de maximum waarde in het Drinkwaterbesluit.

Aanwezigheid in drinkwater(bronnen) en monitoring

De parameter microcystine-LR wordt volgens de Drinkwaterregeling uitsluitend bepaald in drinkwater na de laatste zuiveringsstap of aan het tappunt in geval van potentiële bloei in het voor drinkwater bestemde oppervlaktewater. Deze meetverplichting wordt van kracht met ingang van 12 januari 2026, zodat er voor deze parameter tussen 2015 en 2020 geen metingen in het kader van de wet- en regelgeving voor drinkwater zijn uitgevoerd. De ILT-rapportages over de jaren 2015 – 2022 maken dan ook geen melding van deze parameter. De aanwezigheid van cyanobacteriën in het ruwe water bestemd voor drinkwater is echter al lange tijd onderwerp van onderzoek (bijvoorbeeld [6]). Daarover kan het volgende worden opgemerkt.

Op basis van de cyanobacterie-dichtheden van zes drinkwaterbedrijven die oppervlaktewater als grondstof ten behoeve van de bereiding van drinkwater hebben, is bepaald hoe de maximale theoretische concentratie toxines in het gezuiverde water zich verhoudt tot de voorlopige WHO-richtwaarde [14]. Hiertoe werd uitgegaan van de hoogste gemeten dichtheden cyanobacteriën (*Aphanizomenon*, *Microcystis*, *Aphanocapsa*, *Oscillatoria*) in het ruwe water in de periode 1993 –

1998. Uit deze dichtheden werd met behulp van literatuurgegevens een theoretische concentratie toxines (microcystines, nodularine, cylindrospermopsine, anatoxine-a, saxitoxine) in het ruwe water berekend. Vervolgens werd (eveneens met behulp van literatuurgegevens) de minimale verwijderingscapaciteit van de verschillende zuiveringssystemen bepaald (berekend uit de theoretisch maximale residuconcentratie in het drinkwater). Bij de verwijdering van toxines tijdens het zuiveringsproces werd onderscheid gemaakt tussen celgebonden en vrij toxine. Het bleek dat celgebonden toxine effectief wordt verwijderd door infiltratie en coagulatie in combinatie met filtratie of flotatie. Vrij toxine daarentegen wordt beter verwijderd door adsorptie aan actieve kool. De resultaten van deze worst-case analyse laten zien dat de theoretische residuconcentraties in het drinkwater variëren van zeer laag tot maximaal 2,9 µg/l. Dit maximum is weliswaar groter dan de voorlopige WHO-richtlijn, maar betekent geen gezondheidkundig gevaar voor de consument van drinkwater, omdat de voorlopige richtlijn uitgaat van levenslange blootstelling en cyanobacteriën maar een gedeelte van het jaar in het ruwe water voorkomen. Bovendien is er in de worst-case analyse van uitgegaan dat alle gevonden cyanobacteriën altijd toxines vormen en ook altijd de grootste hoeveelheden toxines bevatten die volgens de literatuur ooit zijn gevonden [14].

In een volgende studie zijn door RIWA de cyanotoxines microcystine en anatoxine gemeten in het ruwe water van enkele oppervlaktewaterbedrijven in de periode mei – september 2000 [15]. Op basis van de samenstelling van het fytoplankton zijn in 71 monsters microcystines en in 40 monsters anatoxine bepaald. In alle 11 monsterlocaties werd minstens één keer microcystine aangetoond. De gemeten concentraties varieerden van concentraties juist boven het detectieniveau (0,01 µg/l) tot 6,5 µg/l. In slechts 7 van de 40 monsters werd anatoxine aangetroffen, waarbij de hoogste concentratie 12,1 µg/l bedroeg. Geconcludeerd werd dat er geen duidelijke relatie bestaat tussen de potentieel toxische biomassa aan cyanobacteriën en de werkelijk gemeten concentraties microcystine in de monsters. Een vergelijking met bovenvermelde worst-case analyse [14] leverde op dat in de meeste monsters de gemeten concentraties toxines lager waren dan de berekende worst-case concentraties, maar ook dat er hogere concentraties werden gemeten [15].

Die laatste constatering was verrassend en leidde tot nieuw onderzoek, waarin door toepassing van nieuwe inzichten in de verwijderingscapaciteit van verschillende zuiveringsstappen voor microcystines een actuele inschatting kon worden gemaakt van de verwijdering van microcystines [6]. Hiervoor is de methode gebruikt die door Carpentier et al. is ontwikkeld is [14]. In twee gevallen was de biomassa aan cyanobacteriën in het ruwe water zo hoog dat worst-case analyse een concentratie aan microcystines in het reine water berekende die hoger was dan de WHO-richtwaarde. Nadere analyse van de situatie bij beide zuiveringen gaf aan dat de worst-case analyse een sterke overschatting gaf. De eindconclusie was dat de microcystines (nog) geen bedreiging voor de drinkwaterkwaliteit vormen, maar dat alertheid geboden is als de biomassa aan cyanobacteriën in het ruwe water sterk toeneemt, zoals in het erg warme jaar 2007 het geval was [6].

Aan het begin van de jaren 20 van deze eeuw zijn door drinkwaterbedrijf Evides Waterbedrijf toxines aan cyanobacterie gemeten in de Maas, het Haringvliet en in de spaarbekkens, waarbij microcystines en anatoxines zijn aangetoond. De concentraties varieerden van < 1 µg/l in het water tot enkele tientallen µg/l in drijflagen. Nodularines, cylindrospermopsines en saxitoxines werden niet aangetroffen [15]. Microcystines en anatoxines werden ook aangetoond in bodembewonende (benthische) cyanobacteriën in de bekkens van genoemd drinkwaterbedrijf [15].

Door de waterschappen en Rijkswaterstaat zijn concentraties microcystine in oppervlaktewater gemeten in de periode 2005 – 2009, die zijn vergeleken met de resultaten van eerder onderzoek uit de periode 2000 – 2004 [16]. Geconcludeerd wordt dat er in de periode 2005 tot en met 2009 sprake is van aanmerkelijk hogere concentraties microcystine. In de jaren 2000 – 2004 werden maximumwaarden van 100 µg/l gemeten, terwijl in de periode 2005 – 2009 waarden van 1.000 µg/l en hoger zijn waargenomen. In de jaren 2006 en 2007 waren meer waarden boven de kritische grens van 20 µg/l (Zwemwaterrichtlijn) [16]. Dit is waarschijnlijk het gevolg van de warme

zomers in die jaren. Desalniettemin lijkt de intensiteit en frequentie van bloei van toxische cyanobacteriën wereldwijd en ook in Nederland toe te nemen [3].

De waterbeheerders in Nederland monitoren de zwemwaterlocaties jaarlijks. Ze gebruiken hiervoor het 'Blauwalgenprotocol' [17]. Dit protocol beschrijft op welke wijze zwemlocaties moeten worden gecontroleerd op blauwalgen en welke maatregelen eventueel moeten worden genomen. Het Blauwalgenprotocol van 2012 is in 2020 geüpdatet volgens nieuwe inzichten waarop de aanwezigheid van blauwalgen in water kan worden gevolgd.

Zuivering

Om de zuiveringen voor drinkwater zo min mogelijk te belasten met cyanotoxines is het in veel gevallen mogelijk om cyanobacteriën in de bron (veelal bekkens) in hun groei te beperken. Dit is mogelijk door een breed scala aan maatregelen, te beginnen bij het reduceren van de voor de groei essentiële voedingsstoffen (fosfaat, stikstof) en het beperken van de groei door het opleggen van lichtlimitatie door middel van het mengen van het water in de bekkens. Een bloei van cyanobacteriën is met verschillende methoden te bestrijden, waarvan de in situ dosering van waterstofperoxide het meest effectief is [18, 19]. Overmatige groei van benthische cyanobacteriën wordt in het spaarbekken Petrusplaat van drinkwaterbedrijf Evides Waterbedrijf al decennialang effectief bestreden door het omwoelen van de bodem met een eg-achtige constructie [20].

Voor de verwijdering van cyanotoxines door de verschillende zuiveringsstappen is het van belang te weten of de toxines zich in de cellen bevinden of zich extracellulair in het water bevinden. In het algemeen zullen de toxines zich in de cellen bevinden. Een uitzondering hierop is cylindrospermopsine, dat ook vaak extracellulair aanwezig kan zijn [21]. Cellen worden zeer goed verwijderd door coagulatie/flocculatie en sedimentatie of flocculatie, langzame-zandfiltratie, oeverfiltratie, duininfiltratie, nanofiltratie en omgekeerde osmose [15, 21], waarbij het wel zaak is om ervoor te zorgen dat de cellen niet stuk gaan aangezien er dan juist cyanotoxines in het water vrijkomen.

Extracellulair cyanotoxine is grotendeels te verwijderen met langzame-zandfiltratie, oeverfiltratie en duininfiltratie. Voor (biologische) actieve-koolfiltratie en poederkooldosering lopen de verwijderingspercentages sterk uiteen van vrijwel geen verwijdering tot volledige verwijdering. Het type actieve kool, de biologische activiteit en contacttijd spelen hierbij een belangrijke rol [15, 21].

Ozon en geavanceerde oxidatie (UV-H₂O₂) zijn matig tot heel effectief in het verwijderen van extracellulair toxine (50 – 100%) [15, 21], waarbij er rekening mee moet worden gehouden dat cellen die hiermee geconfronteerd worden, juist cyanotoxines kunnen afgeven (die kunnen dan weer worden afgebroken, zodat een hogere dosis nodig is). Andere oxidanten, zoals chlooramine en chloordioxide zijn ineffectief in de verwijdering van toxines [21]. Nanofiltratie en omgekeerde osmose daarentegen zijn zeer effectief [15].

De oppervlaktewaterzuiveringen in Nederland voldoen allemaal aan het multi-barrier-principe: ze bestaan uit meerdere zuiveringsstappen. Deze zuiveringen bevatten meerdere stappen voor het verwijderen van deeltjes en vaak ook meerdere stappen voor het verwijderen van opgeloste stoffen [6], en bieden daarmee een goede barrière tegen intracellulaire en extracellulaire cyanotoxines.

Referenties

[1] WHO (2020): 'Cyanobacterial toxins: microcystins; Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality and Guidelines for safe recreational water environments', WHO/HEP/ECH/WSH/2020.6. WHO, Geneva.

[Microsoft Word - GDWQ.2ndEdit.Cyanobacterial.toxins.doc \(who.int\)](#)

[2] Bouaïcha, N., Miles, C.O., Beach, D.G., Labidi, Z., Djabri, A., Benayache, N.Y., Nguyen-Quang, T. (2019): 'Structural diversity, characterization, and toxicology of microcystins', Toxins 11, 714, doi:10.3390/toxins11120714.

[Structural Diversity, Characterization and Toxicology of Microcystins - PMC \(nih.gov\)](#)

[3] Lürling, M., Dam, H. van (2009): 'De biologie en risico's van cyanobacteriën; Blauwalgen: giftig groen', Stowa-rapportnummer 2009-43, STOWA, Utrecht.

[STOWA 2009-43.pdf](#)

[4] Fastner, J., and Humpage, A. (2021): 'Cyanobacterial toxins. Hepatotoxic cyclic peptides – microcystins and nodularins' in Chorus, I., and Welker, M. (Eds). 'Toxic Cyanobacteria in Water; A guide to their public health consequences, monitoring and management', 2nd edition. CRC Press, Boca Raton, 21 – 52, Published on behalf of the World Health Organization, Geneva.

[Microsoft Word - toxcyanbegin.doc \(who.int\)](#)

[5] WHO (2022): 'Guidelines for drinking-water quality;; Fourth edition incorporating the first and second addenda', Geneva.

<https://www.who.int/publications/i/item/9789240045064>

[6] Vernooij, S., Ogier, J., Nederlof, M., Carpentier, J. Kardinaal, E. (2011): 'Cyanotoxines en drinkwater; Risico's van de aanwezigheid van cyanobacteriën en cyanotoxines in oppervlaktewater bestemd voor de drinkwaterproductie', rapport BTO 2011.115(s). KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.

[7] RWS (2011): 'Handreiking blauwwiermatten; De herkenning, risico's en maatregelen', Rijkswaterstaat, Waterdienst.

[Rijkswaterstaat Waterdienst Handreiking blauwwiermatten. De herkenning, risico's en maatregelen. - PDF Free Download \(docplayer.nl\)](#)

[8] Chorus, I., and Testai, E. (2021): 'Exposure to cyanotoxins; Understanding it and short-term interventions to prevent it; Recreational and occupational activities' in: Chorus, I. & Welker, M. (Eds). 'Toxic Cyanobacteria in Water; A guide to their public health consequences, monitoring and management', 2nd edition, CRC Press, Boca Raton: 333 – 367, published on behalf of the World Health Organization, Geneva.

[Toxic cyanobacteria in water - Second edition \(who.int\)](#)

[9] Testai, E. (2021): 'Cyanobacterial toxins; Saxitoxins or paralytic shellfish poisons' in: Chorus, I. & Welker, M. (Eds). 'Toxic Cyanobacteria in Water; A guide to their public health consequences, monitoring and management', 2nd edition, CRC Press, Boca Raton: 94 – 108, published on behalf of the World Health Organization, Geneva.

[Toxic cyanobacteria in water - Second edition \(who.int\)](#)

[10] Welker, M. (2021): 'Cyanobacterial toxins. Cyanobacterial lipopolysaccharides (LPS)' in: Chorus, I. & Welker, M. (Eds). 'Toxic Cyanobacteria in Water; A guide to their public health consequences, monitoring and management', 2nd edition, CRC Press, Boca Raton: 137 – 148, published on behalf of the World Health Organization, Geneva.

[Toxic cyanobacteria in water - Second edition \(who.int\)](#)

[11] Ibelings, B.W., Foss, A., and Chorus, I. (2021): 'Exposure to cyanobacterial toxins; Food', in: Chorus, I. & Welker, M. (Eds). 'Toxic Cyanobacteria in Water; A guide to their public health consequences, monitoring and management', 2nd edition, CRC Press, Boca Raton: 368 – 388, published on behalf of the World Health Organization, Geneva.

[Toxic cyanobacteria in water - Second edition \(who.int\)](#)

[12] Humpage, A., and Cunliffe, D. (2021): 'Exposure to cyanotoxins; Understanding it and short-term interventions to prevent it; Drinking-water', in: Chorus, I. & Welker, M. (Eds). 'Toxic Cyanobacteria in Water; A guide to their public health consequences, monitoring and management', 2nd edition, CRC Press, Boca Raton: 305 – 332, published on behalf of the World Health Organization, Geneva.

[Toxic cyanobacteria in water - Second edition \(who.int\)](#)

- [13] Azevedo, S.M.F.O. (2021): 'Exposure to cyanotoxins; Understanding it and short-term interventions to prevent it; Renal dialysis', in: Chorus, I. & Welker, M. (Eds). 'Toxic Cyanobacteria in Water; A guide to their public health consequences, monitoring and management', 2nd edition, CRC Press, Boca Raton: 389 – 393, published on behalf of the World Health Organization, Geneva.
[Toxic cyanobacteria in water - Second edition \(who.int\)](#)
- [13] Carpentier, C., Hoogenboezem, W. en Ketelaars, H.A.M. (1999): 'Cyanobacterietoxines en drinkwater bereid uit oppervlaktewater; Een worst-case benadering', WBB/PWN cc/aba 99-35035, Werkendam/Haarlem.
- [14] Hoogenboezem, W., Wagenvoort, A.J., en Blaauboer, K. (2004): 'The occurrence of toxic cyanobacteria in some Dutch surface waters used for the production of drinking water', RIWA, Amsterdam.
- [15] Sandrini, G.: persoonlijke mededelingen, 28-02-2024, Evides Waterbedrijf.
- [16] DHV (2010): 'Blauwalgen in Nederland; Landelijk beeld 2005 – 2009', DG Water, WA-WN20100041.
[Microsoft Word - Rapportage 2005-2009.doc \(wur.nl\)](#)
- [17] Schets, F.M., Oost, R. van der, en Waal, D.B. van de (2020): 'Cyanobacteria protocol 2020', RIVM letter report 2020-0167, RIVM, Bilthoven.
[Blauwalgenprotocol 2020 | RIVM](#)
- [18] Wagenvoort, A.J. (2010): Cyanobacteriën in Biesboschspaarbekken De Gijster Een actueel overzicht van de problemen en risico's. AqWa - Evides T&B 2009R33. Aqwa, Wilhelminadorp.
- [19] Burch, M., Brookes, J., and Chorus, I. (2021): 'Assessing and controlling the risk of cyanobacterial blooms; Waterbody conditions', in: Chorus, I. & Welker, M. (Eds). 'Toxic Cyanobacteria in Water; A guide to their public health consequences, monitoring and management', 2nd edition, CRC Press, Boca Raton: 505 – 562, published on behalf of the World Health Organization, Geneva.
[Toxic cyanobacteria in water - Second edition \(who.int\)](#)
- [20] Ketelaars, H.A.M., und Ebbeng, J.H. (1994): 'Ursachen und Bekämpfung der Geruchs- und Geschmacksprobleme beim Speicherbeckenverband Brabantse Biesbosch', in: Ketelaars, H.A.M., Nienhüser, A.E., Hoehn, E. (Eds). 'Die Biologie der Trinkwasserversorgung aus Talsperren', ATT Information, Academic Book Centre, 155 – 169, De Lier.
- [21] Newcombe, G., Ho, L., and Capelo Neto, J. (2021): 'Controlling cyanotoxin occurrence; Drinking-water treatment', in: Chorus, I. & Welker, M. (Eds). 'Toxic Cyanobacteria in Water; A guide to their public health consequences, monitoring and management', 2nd edition, CRC Press, Boca Raton: 591 – 639, published on behalf of the World Health Organization, Geneva.
[Toxic cyanobacteria in water - Second edition \(who.int\)](#)
- [22] WHO: [Guidelines on recreational water quality: Volume 1 Coastal and fresh waters \(who.int\)](#)

● Microplastics

Grondslag norm: n.v.t.

Drinkwaterbesluit 2011: geen maximum waarde

WHO: geen richtwaarde

EG-Drinkwaterrichtlijn 1998: geen parameterwaarde (herziening: ter discussie)

Introductie

Microplastics vormen een zeer gevarieerde groep plastic deeltjes [5]. In de wetenschappelijke literatuur en het beleid wordt het begrip gebruikt voor de verschillende soorten plastic deeltjes met een grootte variërend van 0,1 μm tot 5 mm [1]. Deeltjes kleiner dan 0,1 μm worden nanoplastics genoemd [1]. De vorm kan variëren van bol, vlak of vezel tot onregelmatig en vlokvormig [1]. Microplastics kunnen ontstaan door gebruik en slijtage van grotere producten van plastic en rubber (secundaire microplastics) of ze worden als zodanig geproduceerd om later te worden verwerkt in andere producten (primaire microplastics) [1]. Plastics kunnen kleurpigmenten, oliën, vulstoffen, stabilisatoren, weekmakers en/of andere additieven bevatten. Microplastics breken nauwelijks af in het milieu en lossen niet op in water [1].

Herkomst

In zoetwater zijn de aantallen van de verschillende soorten microplastics gerelateerd aan de productievolumes van de betreffende plastics [2]. Het lijkt er dus op dat hoe meer van een bepaalde plastic er wordt geproduceerd, hoe meer er uiteindelijk in het zoetwater terecht komt. Uit schattingen blijkt dat het aandeel secundaire microplastics hoger is dan het aandeel primaire microplastics. De grootste bijdrage wordt geleverd door het degraderen van zwerfvuil, gevolgd door slijtage van banden, verfdeeltjes, het wassen van textiel en slijtage van sportvelden van kunstgras. Het grootste deel van de primaire microplastics die in het milieu vóórkomen, zijn het gevolg van ongelukken of onzorgvuldig handelen tijdens productie en/of transport van plastic producten [1]. Primaire microplastics komen ook voor in scrubdeeltjes in cosmetica en in mindere mate in schurende schoonmaakmiddelen [1]. Vooral voor primaire microplastics valt in de komende jaren een afname te verwachten door maatregelen van diverse partijen om de emissie te verlagen [1].

Microplastics komen terecht in het oppervlaktewater via afspoeling met regenwater. Ook afvalwater is een belangrijke bron van microplastics, waarbij lozing kan plaatsvinden via de RWZI of via riooloverstorten bij intensieve regenval. Ten slotte zijn industrieel afvalwater, gedegradiseerd plastic en depositie uit de atmosfeer belangrijke factoren [2]. In het buitenland wordt zuiveringsslib uit de RWZI uitgereden over land, waardoor het mogelijk bijdraagt aan de verspreiding van microplastics. In Nederland wordt het slib verbrand [1]. Er zijn op dit moment nog te weinig data om de omvang van de uitstoot via verschillende bronnen vast te stellen [2].

Blootstellingsroutes

Blootstelling van mensen aan microplastics kan via meerdere routes, bijvoorbeeld via inademen (deeltjes kleiner dan 50 μm) en via voedsel en drinken. Een beter begrip van de totale blootstelling aan microplastics is nodig. Er is op dit moment nog niet veel over bekend [2].

Gezondheidskundige betekenis

De effecten van het vóórkomen van microplastics in het milieu zijn vooralsnog onduidelijk [1]. Zowel de gezondheidseffecten als de huidige blootstellingsniveaus moeten eerst nader worden onderzocht, voordat een goede risicobeoordeling mogelijk is [3]. Op basis van de huidige (beperkte) kennis wordt geconcludeerd dat microplastics in drinkwater (vooralsnog) geen risico vormen voor consumenten. Vanuit het voorzorgprincipe wordt gesteld dat de hoeveelheid microplastics in drinkwater zo veel mogelijk dient te worden beperkt, omdat niet kan worden

uitgesloten dat er in de toekomst nadelige effecten kunnen optreden [1, 2]. De mogelijke effecten kunnen grofweg in drie categorieën worden verdeeld:

- **Fysieke effecten door de deeltjes zelf**
Over de fysieke gevolgen door opname van de deeltjes op zich zijn weinig data bekend. Het is de verwachting dat microplastics groter dan 150 µm waarschijnlijk niet worden opgenomen in het lichaam. Deeltjes van deze grootte zijn aangetoond in feces [10]. De opname van kleinere deeltjes is nog onbekend [2]. Zo is weliswaar geen studie bekend met effecten in een reële situatie [2], maar bleken wel pas bij extreem hoge blootstellingen van deeltjes van 5 µm microplastics in het lichaam effecten aantoonbaar [3]. In experimenten met dieren zijn de resultaten niet eenduidig, mogelijk door het gebrek aan eenduidigheid ten aanzien van fracties en type microplastic [5].
- **Toxicologische effecten van de stoffen in of aan de deeltjes**
De mogelijk toxische effecten van microplastics kunnen worden veroorzaakt door de in microplastics aanwezige additieven (bijvoorbeeld vlamvertragers, kleurstoffen, biociden, weekmakers, etc.) of door hydrofobe chemicaliën die in water adsorberen aan microplastics [1]. In vergelijking met andere emissieroutes van dit soort stoffen in het milieu is de bijdrage via blootstelling aan microplastics naar verwachting zeer beperkt [2]. Uit door de WHO uitgevoerde scenarioberekeningen bleek een laag gezondheidsprobleem bij blootstelling van de mens aan chemicaliën via microplastics door inname van drinkwater, zelfs in extreme omstandigheden [2].
- **Effecten van de microbiële aangroei op de deeltjes [1]**
Microbiële effecten kunnen plaatsvinden als gevolg van biofilms die groeien op microplastics. Een biofilm is een laag micro-organismen omgeven door zelfgeproduceerd slijm die is gehecht aan een oppervlak. Biofilmvormende micro-organismen binden snel aan oppervlakken van materialen zoals plastic [2]. Er zijn geen onderzoeken die suggereren dat er een risico voor de gezondheid zou zijn als gevolg van biofilms op microplastics in drinkwater. De relatieve bijdrage zal ook verwaarloosbaar klein zijn ten opzichte van de veel grotere oppervlakken waarop biofilms kunnen groeien in het leidingnet voor drinkwater [2].

Normen en richtlijnen verklaard

Er zijn geen grenswaarden vastgesteld voor de aanwezigheid van microplastics in (bronnen voor) drinkwater. In de nieuwe [Europese Drinkwaterrichtlijn](#) (eind 2020) wordt aandacht gevraagd voor de (mogelijke) aanwezigheid van microplastics in (bronnen voor) drinkwater, maar een maximale waarde is niet genoemd.

Aanwezigheid in drinkwater(bronnen) en monitoring

Microplastics zijn wereldwijd overal in het milieu aangetoond: in zeewater, afvalwater, oppervlaktewater, voedsel, lucht en drinkwater (uit de kraan en gebotteld) [2].

In water wordt sinds kort steeds meer aan de microplastics gemeten, terwijl meetmethoden nog onvoldoende zijn gestandaardiseerd [3]. Zo worden verschillende zeefgroottes gebruikt bij het concentreren van plastics in oppervlaktewater en drinkwater, en daarom kunnen de resultaten van de verschillende studies moeilijk onderling worden vergeleken [2]. De studies van recentere datum kennen verder ontwikkelde monsternemings- en analysemethoden. Het is al wel duidelijk te stellen dat plastic deeltjes op allerlei plekken aantoonbaar zijn en ook in bronnen van drinkwater zijn aangetoond. In Nederland zijn studies uitgevoerd in de Maas [6, 8], de Dommel [6], de Rijn [7, 8] en de afvalwaterzuiveringen in Amsterdam [9]. De meest recente studie aan de Maas en de Dommel heeft 26 soorten polymeerdeeltjes aangetoond van circa 25 µm tot 1 mm in concentraties van 67 tot 11.532 per m³ water. In alle monsters werden meer deeltjes dan vezels gevonden [6].

Metingen in het buitenland wijzen erop dat overeenkomstig de verwachting grondwater lagere gehalten plastic deeltjes bevat dan oppervlaktewater. Dit zal naar verwachting ook voor de Nederlandse situatie gelden [3]. Gegevens hierover worden vanaf 2020 tegemoet gezien.

Over deeltjes in drinkwater bestaat nog onduidelijkheid. Van de vijftig studies in 2019 voldeden slechts vier studies aan voldoende kwaliteitscriteria voor een betrouwbare analyse [3]. De aantallen gemeten deeltjes varieerden dan ook tussen de onderzoeken en watertypen van 0,01 tot 100.000.000 per m³ water [3]. Vanaf 2020 worden in Nederland ook metingen in drinkwater uitgevoerd (resultaten volgen nog).

Zuivering

Er zijn nog weinig data beschikbaar over de verwijdering van microplastics uit afval- en oppervlaktewater. AWZI's en RWZI's zijn effectief voor het verwijderen van deeltjes met eigenschappen die vergelijkbaar zijn met die van bepaalde microplastics. Eigenschappen die relevant zijn voor verwijdering bij waterbehandeling omvatten grootte, dichtheid en oppervlaktelading [2].

Bij de bereiding van drinkwater in Nederland kunnen conventionele zuiveringsprocessen (coagulatie, flocculatie, sedimentatie/flotatie, gevolgd door filtratie) deeltjes kleiner dan een micrometer verwijderen, omdat die zijn geoptimaliseerd om water met een lage troebelheid te produceren. Momenteel wordt onderzoek gedaan of dit ook geldt voor microplastics. Geavanceerde zuiveringstechnieken kunnen kleinere deeltjes verwijderen. Nanofiltratie bijvoorbeeld kan deeltjes > 0,001 µm verwijderen, terwijl ultrafiltratie deeltjes > 0,01 µm kan verwijderen [2].

Referenties

- [1] RIVM: 'Factsheet microplastics in Nederlandse wateren', RIVM, Bilthoven.
<https://www.rivm.nl/sites/default/files/2019-06/Factsheet%20Microplastics%20in%20Nederlandse%20wateren.pdf> (zie ook <https://www.rivm.nl/microplastics>)
- [2] WHO (2019): 'Microplastics in drinking-water', licence CC BY-NC-SA 3.0 IGO, World Health Organization, Geneva.
<https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/326499/9789241516198-eng.pdf?ua=1>
- [3] Koelmans, A.A., Nor, N.H.M., Hermesen, E., Kooi, M., Mintenig, S.M., and France, J. De (2019): 'Microplastics in freshwaters and drinking water: Critical review and assessment of data quality', Water Research, Volume 155, pages 410 – 422.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135419301794>
- [4] ECHA: webpagina 'Microplastics'.
<https://echa.europa.eu/nl/hot-topics/microplastics>
- [5] Rochman, C. M., *et al.* (2019): 'Rethinking microplastics as a diverse contaminant suite', Environmental Toxicology and Chemistry, volume 38, issue 4, pages 703 – 711.
<https://setac.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/etc.4371>
- [6] Mintenig, S. M., Kooi, M., Erich, M.W., Primpke, S., Redondo-Hasselerharm, P.E., Dekker, S.C., Koelmans, A.A., and Wezel, A.P. van (2020): 'A systems approach to understand microplastic occurrence and variability in Dutch riverine surface waters', Water Research, volume 176, article 115723.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135420302608>
- [7] Mani, T., Hauk, A., Walter, U., and Burkhardt-Holm, P. (2015): 'Microplastics profile along the Rhine River', Scientific Reports, volume 5, article 17988.
https://www.researchgate.net/publication/286382859_Microplastics_profile_along_the_Rhine_River
- [8] Urgert, W (2015): 'Microplastics in the rivers Meuse and Rhine; Developing guidance for a possible future monitoring program', Open University of the Netherlands, Heerlen.

https://www.ou.nl/documents/40554/72652/Master_thesis_NW_Wilco_Urgert.pdf/124bfac1-0c31-49ca-91d2-12c7e041ae69

[9] Leslie, H.A., Brandsma, S.H., Velzen, M.J.M. van, and Vethaak, A.D. (2017): 'Microplastics en route: Field measurements in the Dutch river delta and Amsterdam canals, wastewater treatment plants, North Sea sediments and biota', Environment International, volume 101, pages 133 – 142.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412017301654>

[10] Schwabl, P., Köppel, S., Königshofer, P., Bucsics, T., Trauner, M., Reiberger, T., and Liebmann, B. (2019) 'Detection of Various Microplastics in Human Stool; A Prospective Case Series', Annals of Internal Medicine, volume 171, number 7, pages 453 – 457.
[Detection of Various Microplastics in Human Stool: A Prospective Case Series: Annals of Internal Medicine: Vol 171, No 7 \(acpjournals.org\)](https://www.acpjournals.org/doi/10.1016/j.annint.2019.05.001)

- **MTBE (methyl-tertiar-butylether) en ETBE (ethyl-tertiar-butylether)**

MTBE:

Grondslag norm: voorzorg

Drinkwaterbesluit 2011: maximum waarde 1 µg/L

WHO 2017: geen richtwaarde

Europese Drinkwaterrichtlijn 2020: geen vermelding

ETBE:

Grondslag norm: voorzorg

Drinkwaterbesluit 2011: maximum waarde 1 µg/L

WHO 2017: geen vermelding

Europese Drinkwaterrichtlijn 2020: geen vermelding

Herkomst

MTBE en ETBE zijn vluchtige organische stoffen die als loodvervanger en verhoger van het octaangetal in benzine worden toegepast. Het gebruik van deze stoffen als loodvervanger leidt tot een lagere uitstoot van lood naar het milieu. Bovendien verbrandt benzine door toevoeging ervan beter en veroorzaakt daardoor minder vorming van koolmonoxide en ozon. De beide vluchtige stoffen lossen goed op in water en worden niet snel afgebroken in het milieu. In de VS wordt MTBE sinds de zeventiger jaren van de vorige eeuw toegepast. In Nederland is MTBE sinds 1973 op kleine schaal geproduceerd en sinds 1984 op grote schaal [1].

In 1999 bedroeg de totale wereldproductie van MTBE ongeveer 21,4 miljoen ton (Mton), waarvan 3,4 Mton in Europa. De Europese productie van ETBE bedroeg in 2002 ongeveer 568.000 ton en is toegenomen tot ongeveer 1,3 Mton in 2005. In 2006 is in Geleen (na het ombouwen van een bestaande MTBE-fabriek) begonnen met de productie van ETBE. De productiecapaciteit voor ETBE is in Nederland hoog vergeleken met de meeste andere Europese lidstaten [2].

Productie en gebruik van deze benzine-additieven resulteert in emissies naar lucht, oppervlaktewater en bodem. Door hun hoge persistentie, wateroplosbaarheid en vluchtigheid verspreiden de beide stoffen zich snel in het milieu. De belangrijkste emissies naar de bodem ontstaan bij het morsen van benzine, lekken uit ondergrondse tanks en onoordeelkundig of illegaal lozen. De beroeps- en recreatievaart belast ook het oppervlaktewater met soms forse lozingen van tankers. Eenmaal in de bodem blijven de benzine-additieven in de opgeloste fase. Zo kunnen ze naar het grondwater worden meegevoerd. Een lekkage kan al snel grote hoeveelheden grondwater verontreinigen, vooral in poreuze bodems en in bodems waar het grondwaterpeil vlak onder het maaiveld staat [2]. In 2004 en 2005 heeft drinkwaterbedrijf WML de inname van Maaswater uit het Lateraalkanaal maandenlang moeten stoppen vanwege een lekkage in een 4,5 km lange leiding voor MTBE van chemiebedrijf SABIC te Geleen [3]. De lekkage was het gevolg van een foute las bij de aanleg van de leiding in 1976. Uiteindelijk is SABIC veroordeeld vanwege het overschrijden van de vergunningsvoorschriften [4].

Uit een landelijk inventariserend onderzoek in Nederland (uitgevoerd in 2006 en 2007) bleek dat het grondwater op een groot aantal locaties nabij tankstations was verontreinigd met MTBE. Het aantal meldingen van incidentele verontreinigingen met MTBE of ETBE in de waarschuwings- en

alarmsystemen die de waterkwaliteit van Rijn en Maas bewaken, nam toe tot 2009. Daarna verdwenen de meldingen grotendeels. Dit valt samen met het verschijnen van de richtlijn voor MTBE/ETBE-transport over binnenlandse waterwegen van de European Fuel Oxygenates Association (EFOA). De doelstelling van deze richtlijn is het minimaliseren van de resthoeveelheid damp en vloeistof tijdens het vervoer van MTBE en ETBE om de kans op vrijkomen in het water te verminderen [5, 6]. Deze richtlijn heeft tot positieve resultaten geleid en RIWA beschouwt MTBE en ETBE inmiddels niet meer als probleemstoffen voor oppervlaktewater [7].

Blootstellingsroutes

De inademing van binnenlucht is de dominante blootstellingsroute aan MTBE en ETBE [8]. Deze route draagt voor 94% bij aan de totale blootstelling. Hiernaast kan enige blootstelling plaatsvinden via consumptie van in eigen tuin geteelde voedingsgewassen. Door de hoge vluchtigheid van MTBE verdampt de door de plant opgenomen stof weer grotendeels uit het blad. MTBE kan wel worden opgeslagen in de wortel. De bijdrage van de andere blootstellingsroutes (bijvoorbeeld door het in de mond stoppen van grond) of via drinkwater na permeatie door de drinkwaterleiding speelt nauwelijks een rol van betekenis in de totale blootstelling aan MTBE en ETBE [8].

De beroepsmatige blootstelling vindt voornamelijk plaats bij de productie van MTBE, bij het mengen van petroleumproducten, tijdens transport en levering van producten aan benzinestations en als gevolg van emissies van uitlaatgassen van verschillende machines. Blootstelling vindt ook plaats bij incidenten zoals lekkages van leidingen en verbindingen daarin, en bij het morsen van benzineproducten [11].

Gezondheidkundige betekenis

MTBE en ETBE hebben een relatief lage acute en chronische toxiciteit.

De WHO vermeldt dat er geen humaan-kankerstudies zijn uitgevoerd voor de algemene bevolking, noch voor de beroepsgroepen die worden blootgesteld aan MTBE [9]. Naar alle waarschijnlijkheid is MTBE niet genotoxisch. De WHO baseert dat op een groot aantal in vitro en in vivo zoogdier- en niet-zoogdierstudies naar de mutageniteit van MTBE [9]. De WHO geeft geen gezondheidkundige richtlijn, omdat die veel hoger zou zijn dan de concentratie waarbij MTBE al geur- en smaakproblemen geeft (15 µg/L) [9].

De geur- en smaakdrempel voor MTBE en ETBE is 7 – 16 respectievelijk 1 – 2 µg/L [2]. De Europese Unie heeft voor MTBE op basis van een uitgebreide literatuurstudie een geurdrempel van 15 µg/L en een smaakdrempel van 40 µg/L afgeleid [11]. Deze waarden worden ook door RIVM gehanteerd [12].

In verschillende specifieke studies naar neurologische of klinische effecten van MTBE-inademing werden geen gezondheidseffecten aangetoond, ook niet in omgevingen waar blootstelling aan MTBE en ETBE aannemelijk hoger dan gemiddeld is, zoals bij tankstations [9].

Uit deze waarden blijkt dat MTBE en/of ETBE in drinkwater in het algemeen geen gezondheidkundig probleem vormen, maar wel kunnen leiden tot een lichte aantasting van de geur en/of smaak van het drinkwater.

Normen en richtlijnen verklaard

RIVM adviseerde als maximaal toelaatbare concentraties MTBE in het grond- of oppervlaktewater voor de bereiding van drinkwater 9.420 µg/L en 1 µg/L als signaleringsparameter [8]. Voor de humaan-toxicologische risicogrens van 9.420 µg/L was het uitgangspunt een maximaal toelaatbaar risico voor blootstelling van 0,3 mg per kilo lichaamsgewicht per dag. In de berekening is uitgegaan van een volwassene van 70 kg lichaamsgewicht en een consumptie van 2 liter drinkwater per dag, en van een kind van 15 kg en een consumptie drinkwater van 1 liter per dag, waarbij in de berekening ook de duur van het consumeren van drinkwater in jaren is meegewogen [8]. Uit de berekening volgt een humaan-toxicologische risicogrens voor de bereiding van drinkwater van 9.420 µg/L. Hierbij is uitgegaan van 100% allocatie aan drinkwater als voornaamste blootstellingsroute. Deze maximaal toelaatbare concentratie in het grond- of oppervlaktewater

moet worden beschouwd als de kwaliteit waaraan water (oppervlaktewater of grondwater) moet voldoen om tot bereiding van drinkwater over te kunnen gaan.

In 2010 bevestigde KWR Water Research Institute de voorlopige gezondheidkundige richtwaarde van 9.420 µg/L voor MTBE en berekende 525 µg/L voor ETBE [10]. De indicatieve gezondheidkundige richtwaarde van 525 µg/L voor ETBE is gebaseerd op de NOAEL van 29,1 mg/kg lichaamsgewicht/dag. Gebruik makend van een totale onzekerheidsfactor van 200 (voor inter- en intraspecies variatie en studieduur) wordt een TDI van 0,15 mg/kg lichaamsgewicht per dag berekend. Daaruit volgt een drinkwaterrichtwaarde van 525 µg/L voor ETBE (uitgaande van default waarden voor lichaamsgewicht, 70 kg, en drinkwaterconsumptie, 2 L per dag). In de RIVM-stoffendatabase wordt voor ETBE geen drinkwaterrichtwaarde genoemd.

De Office of Environmental Health Hazard Assessment (California) gebruikt sinds 1999 een gezondheidkundige streefwaarde van 13 µg/L [17, 18].

In het Drinkwaterbesluit is gekozen voor de signaleringswaarde van 1 µg/L. De betekenis van deze waarde is daarbij omschreven als kwaliteitseisen bedoeld voor het signaleren van mogelijke verontreinigingen. In geval van overschrijding van deze kwaliteitseisen hoeft geen sprake te zijn van risico's voor de volksgezondheid, maar is nader onderzoek nodig.

Aanwezigheid in drinkwater(bronnen) en monitoring

MTBE en ETBE zijn als 'probleemstoffen' voor de bereiding van drinkwater aangemerkt, omdat de beide stoffen al bij lage concentraties zintuiglijk waarneembaar zijn (geur en smaak). MTBE en ETBE zijn daarom signaleringsparameters en moeten volgens de Drinkwaterregeling in ruwwater worden gemeten volgens de auditfrequentie.

Oppervlaktewater

Sinds 2003 wordt het verloop van de concentraties van MTBE en ETBE in de Rijn en de Maas bijgehouden door RIWA. Bij Lobith (Rijn) bedroegen de gemiddelde concentraties aan MTBE en ETBE in 2006 0,41 respectievelijk 0,23 µg/L. In 2016 is de stof diverse malen aangetroffen in de Maas boven de rapportagegrens (0,01 – 0,05 µg/L). De hoogst gemeten concentratie was 0,691 µg/L in Heel [15]. Het aantal meldingen van incidentele verontreinigingen met MTBE of ETBE in de waarschuwings- en alarmsystemen die de waterkwaliteit van Rijn en Maas bewaken, nam toe tot 2009. Daarna verdwenen de meldingen grotendeels. Dit valt samen met het verschijnen van de richtlijn voor MTBE/ETBE transport over binnenlandse waterwegen van de EFOA. De doelstelling van deze richtlijn is het minimaliseren van de resthoeveelheid damp en vloeistof tijdens het vervoer van MTBE en ETBE om de kans op vrijkomen in het water te verminderen [5, 6]. Deze richtlijn heeft tot positieve resultaten geleid en RIWA beschouwt MTBE en ETBE inmiddels niet meer als probleemstoffen voor oppervlaktewater [7].

In de periode 2015 – 2020 is MTBE in 59% van de innamepunten voor oppervlaktewater aangetroffen boven de rapportagegrens (0,05 µg/L). Er is in deze periode geen trend in dit percentage. De jaarmediaan lag in 2018 en 2020 boven de rapportagegrens (respectievelijk 0,07 en 0,11 µg/L). De maximale concentratie bedroeg 2,7 µg/L (2020) [15]. In de ILT-rapportage wordt van de 1.623 metingen in 2016 een eenmalige overschrijding gemeld (locatie Berenplaat: jaargemiddelde 0,17 µg/L en maximum 3 µg/L).

In de periode 2015 – 2020 was de concentratie ETBE in ruw oppervlaktewater in 28% van de gerapporteerde winpunten hoger dan de rapportagegrens (0,03 – 0,05 µg/L), waarbij er geen sprake was van een trend. De mediaan was in al deze jaren lager dan de rapportagegrens. De maximum concentratie was 1,2 µg/L (2020) [15].

Grondwater

In 61 van de 207 grondwaterwinningen waarvan meetgegevens beschikbaar waren, werd MTBE aangetroffen: doorgaans in lage concentraties (< 0,1 µg/L). Bij rivier- en duininfiltratielocaties werd de geur- en smaakdrempel voor MTBE incidenteel overschreden. In de ILT-rapportages van 2015 – 2020 staat geen vermelding van MTBE in water van grondwaterwinningen. Tussen 2015 en 2020 was de concentratie MTBE in ruw grondwater in 10% van de gerapporteerde winpunten boven de

rapportagegrens (0,05 µg/L). Er is geen sprake van een trend in dit percentage. De mediaan is voor alle jaren lager dan de rapportagegrens. De maximum concentratie bedroeg 0,9 µg/L (2016). De concentratie kan vooral sterk zijn verhoogd nabij (voormalige) tankstations. Een wat ouder voorbeeld hiervan is een verhoogde concentratie van 11,9 µg/L (2001) in een individuele grondwaterput nabij een benzinstation in Zutphen [16]. Dit leidde tot een verhoogde waarde (2,9 µg/L) in het drinkwater. Hierop zijn door het betrokken drinkwaterbedrijf Vitens maatregelen genomen om de concentraties te verminderen [14]. Overigens zijn grondwaterbeheerders sinds 2010 nu ook verplicht om een overschrijding van 1 µg/L MTBE in grondwaterbeschermingsgebieden en een overschrijding van 15 µg/L MTBE buiten die gebieden te melden in het kader van de Wet Bodembescherming [18].

Aanvullende informatie over het vóórkomen van MTBE in Nederland is beschreven in een aantal onderzoeken, zoals door TAUW in 2007 [17]. Dit onderzoek laat zien dat MTBE in ongeveer de helft van de locaties is aangetroffen waarbij in één geval een extreem hoge concentratie aan MTBE in het grondwater werd aangetroffen. De auteurs veronderstellen dat dergelijke uitschieters op meerdere plaatsen in Nederland kunnen voorkomen [17]. In recent onderzoek door de provincies naar stoffen in grondwatermeetnetten (2015 – 2016) is MTBE aangetoond in 4% van de grondwatermonsters en 3% van de KRW-grondwatermonsters [18]. In deze meetronde variëren concentraties van 0,2 tot 28 µg/L, met een gemiddelde concentratie van 2,55 µg/L. De maximale waarde (overschrijding) is waargenomen in de provincie Gelderland buiten een grondwaterbeschermingsgebied.

Voor ETBE zijn veel minder meetgegevens beschikbaar. Dit additief werd gevonden in 2 van de 37 grondwaterwingebieden waarvan data beschikbaar zijn, steeds in lage concentraties (< 1 µg/L) [2]. Tussen 2015 en 2020 was de concentratie ETBE in ruw grondwater in 2019 en 2020 in 1% van de gerapporteerde winpunten hoger dan de rapportagegrens (0,03 – 0,05 µg/L). De mediaan was in al deze jaren lager dan de rapportagegrens. De maximum concentratie bedroeg 0,06 µg/L (2019). In de ILT-rapportage wordt van de 1.623 metingen in 2016 een eenmalige overschrijding gemeld (locatie Berenplaat: jaargemiddelde 3 en maximum 61 µg/L).

Zuivering

KWR Water Research Institute heeft onderzoek gedaan naar de rendementen van verschillende zuiveringsstappen (snelfiltratie, poederkooldosering gevolgd door snelfiltratie, nanofiltratie gevolgd door actieve-koolfiltratie, omgekeerde osmose, ozon gevolgd door biologische actieve-koolfiltratie en UV-peroxide oxidatie). Uit dat onderzoek is gebleken dat bij toepassing van in de praktijk gebruikelijke condities uitsluitend omgekeerde osmose een effectieve barrière is voor MTBE en voor ETBE. Indien uitsluitend MTBE een probleem vormt, ligt het meer voor de hand een beluchtingstoren te plaatsen met een hoge lucht/water-verhouding. Hiermee zijn verwijderingspercentages van meer dan 90% mogelijk [14]. UV/peroxide/oxidatie bleek maar matig effectief te zijn (28% omzetting van MTBE). Bij hogere doseringen dan in de Nederlandse praktijk gebruikelijk zijn in de literatuur hogere omzettingspercentages gevonden. In de experimenten kon niet worden vastgesteld welke bijdrage actieve-koolfiltratie kan leveren. Geconcludeerd werd dat zowel voor MTBE als voor ETBE een forse inspanning is vereist om deze stoffen uit bronnen voor drinkwater te verwijderen [13, 14].

Referenties

- [1] <https://www.bodemplus.nl/onderwerpen/bodem-ondergrond/bodemsanering/mtbe-etbe/>.
- [2] de Voogt, P., Puijker, L., Vink, C., van Wezel, A. (2009): Smaak en geurdrempels van benzine-additieven en voorkomen in waterwingebieden. H₂O 25-26, 46-47.
- [3] <https://edepot.wur.nl/355321>.
- [4] <https://bodemnieuws.nl/cms/9209-transactie-overeengekomen-met-sabic-limburg-bv.html>.
- [5] https://www.riwa-maas.org/wp-content/uploads/2018/11/Waterkwaliteitsverslag_2009.pdf.
- [6] <https://www.riwa-rijn.org/wp-content/uploads/2015/05/RIWA-Jaarrapport-2007.pdf>.

- [7] <https://www.riwa-maas.org/meetgegevens/industriële-stoffen-die-ook-voorkomen-in-consumentenproducten/>.
- [8] Swartjes, F.A., Baars, A.J., Fleuren, R.H.L.J., Otte, P.F. (2004): Risicogrenzen voor MTBE (Methyl *tertiar*-Butyl Ether) in bodem, sediment, grondwater, oppervlaktewater, drinkwater en voor drinkwaterbereiding. Rapport 711701039/2004. RIVM, Bilthoven.
<https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/711701039.pdf>.
- [9] World Health Organization (2022): Guidelines for drinking-water quality; Fourth edition incorporating the first and second addenda
- [10] [Toxicological relevance of emerging contaminants for drinking water quality - PubMed \(nih.gov\)](#)
- [11] EU (2002): European Union Risk Assessment Report tert-butyl methyl ether. 3rd Priority List, Volume 19. Luxemburg.
- [12] <https://rvszoeksysteem.rivm.nl/Stoffen>
- [13] Abrahamse, A., Ijpelaar, G., (2007): MTBE in de drinkwaterzuivering 2. Effectiviteit zuiveringstechnieken in de drinkwaterpraktijk. BTO 2007-004. KWR, Nieuwegein.
- [14] Aulich, C., Schoonenberg Kegel, F., Ebbing, T. (2005): Vitens pakt MTBE-probleem aan bij productiebedrijf Zutphen H₂O/14 2005 blz. 33-36.
- [15] REWAB, 2022
- [16] <https://cdn.who.int/media/docs/default-source/wash-documents/wash-chemicals/mtbe200605.pdf>
- [17] OEHHA 1999, [Methyl TertiaryButyl Ether - OEHHA \(ca.gov\)](#)
- [18] [Toxicological risk assessment and prioritization of drinking water relevant contaminants of emerging concern - PubMed \(nih.gov\)](#)

● Nanodeeltjes

Grondslag norm: n.v.t.

Drinkwaterbesluit 2011: geen vermelding

WHO: geen vermelding

EG-Drinkwaterrichtlijn 1998: geen vermelding

Introductie

Nanodeeltjes zijn deeltjes die vanwege hun afmetingen en/of vorm andere eigenschappen hebben in vergelijking met grotere deeltjes van dezelfde chemische samenstelling. Nanodeeltjes zijn zo klein dat de eigenschappen van de individuele atomen van het materiaal een grotere rol gaan spelen, waardoor de eigenschappen van het deeltje anders zijn dan van grotere deeltjes van dezelfde samenstelling. Nanomaterialen variëren in ten minste één dimensie in grootte. In de definitie zoals deze geldt in de EU wordt ten aanzien van deze deeltjes gesproken over: *‘elk natuurlijk, gevormd of geproduceerd materiaal van deeltjes, ongebonden of zich als een agglomeraat vormt met een van de dimensies een grootte van 1 tot 100 nanometer’* [4] (1 nm is een miljardste deel van een meter).

Voor de zuivering van water zijn nanomaterialen interessant. Door hun grote specifieke oppervlak kunnen nanodeeltjes een grote hoeveelheid in water opgeloste stoffen opzuigen of opnemen. Ook kunnen nanodeeltjes in een chemische reactie worden gebuikt om de reactiesnelheid te versnellen voor in water optredende reacties. Deze eigenschappen zouden goed kunnen worden benut in de waterbehandeling. Nanomaterialen worden vooralsnog niet op grote schaal toegepast in de zuivering [1], omdat de verwijdering van de nanodeeltjes zelf nog een uitdaging is.

De kennis op dit gebied is zeer beperkt, omdat het meten van deze kleine deeltjes nog een relatief jong vakgebied is. Zo is een meetcampagne door KWR aan deze deeltjes gelimiteerd tot een eenmalige analyse van een bepaald soort deeltje, terwijl er meerdere soorten bestaan. Voor een beter en compleet beeld zouden meerdere soorten deeltjes en zuiveringen met verschillende processen moeten worden onderzocht, en ook meerdere malen per jaar. Tevens bestaat er nog geen universele methode voor het analyseren van nanodeeltjes. Dit maakt het onderling vergelijken van resultaten in de literatuur lastiger [11].

Herkomst

Nanodeeltjes worden toegepast in veel alledaagse producten zoals autolak, autobanden, schoenspray en zonnebrandcrème en ook in adsorptiematerialen, membranen, katalysatoren, sensoren en computerchips. Zowel de markt voor nanotechnologie als het aantal nieuwe toepassingen groeit [1].

Bepaalde toepassingen van nanodeeltjes kunnen leiden tot relatief grote emissies naar water. Dat geldt bijvoorbeeld voor het gebruik als UV-blokker in zonnebrandmiddelen, bij waterzuivering en bodemsanering, als toevoeging aan diesel als brandstof en als bestrijdingsmiddel in de landbouw [1]. Goede inschattingen van de emissies zijn moeilijk te maken. Emissies in de productiefase van nanomaterialen zijn waarschijnlijk klein, maar de waarschijnlijkheid is groter dat die emissies na de productiefase uit vrije nanodeeltjes bestaan [1].

Blootstellingsroutes

Bij nanodeeltjes in water wordt bedoeld de ‘aanwezigheid’ van een bepaalde concentratie aan vrije (enkelvoudige) deeltjes in de waterfase. Dat is de feitelijke blootstellingsconcentratie die bepalend is voor de effecten op aquatische organismen [1] en mensen. De levensduur van nanodeeltjes in natuurlijke milieus wordt bepaald door de snelheid van oplossen. Het schatten van

de blootstellingsconcentratie aan vrije en biologisch beschikbare nanodeeltjes wordt gezien als een van de grootste uitdagingen in het vakgebied van de toxicologie [1].

Mensen kunnen in contact komen met producten waarin nanodeeltjes zijn verwerkt of via water, voeding, als recreant (blootstelling via oppervlaktewater), als patiënt (allerlei medische toepassingen) en/of op de werkplek [1]. Opname vanuit het maagdarmkanaal is de belangrijkste blootstellingsroute voor nanodeeltjes [1]. De hoeveelheid nanodeeltjes waaraan Nederlanders via drinkwater worden blootgesteld, is laag in vergelijking met de hoeveelheid nanodeeltjes via andere bronnen, zoals voeding [2].

Gezondheidkundige betekenis

De mogelijke gevaren van verschillende nanodeeltjes zijn sterk afhankelijk van het soort deeltje en de omgeving. Nanodeeltjes zijn niet per definitie giftig of schadelijk [8], maar er zijn tot nu toe weinig stof-specifieke risicobeoordelingen voor nanodeeltjes uitgevoerd door erkende specialisten. Dit komt door een gebrek aan gegevens over specifieke nanodeeltjes, hun gedrag en effecten, en door het huidige tekort aan wetenschappelijke en onderling afgestemde methoden en instrumenten. De beoordelingen beperken zich over het algemeen tot relatief eenvoudige nanomaterialen [8]. Via water, voedsel of medicijnen opgenomen nanodeeltjes kunnen in principe door de darmwand worden opgenomen en zo het lymfesysteem bereiken. Vanuit dat systeem kunnen nanodeeltjes in de bloedcirculatie terechtkomen en zich verspreiden door het lichaam. In de beschikbare studies zijn deeltjes teruggevonden in diverse organen zoals hart, lever, milt, nieren en beenmerg [1]. Ze kunnen mogelijk ophopen in organen als de lever en de milt [8]. Er zijn aanwijzingen dat nanodeeltjes biologische barrières zoals de bloedhersen-barrière kunnen passeren. Eenmaal binnen de cel is een groot aantal interacties denkbaar. Het is niet duidelijk of en zo ja, in welke mate het vóórkomen van nanodeeltjes in het menselijk lichaam aanleiding kan geven tot ongewenste effecten. Een aannemelijk effect van nanodeeltjes is de inductie van reactieve zuurstofradicalen, gevolgd door oxidatieve stress in cellen en organen [1]. Er zijn vooral studies naar acute en in mindere mate naar chronische effecten uitgevoerd [1].

Op basis van de verwachte lage blootstelling van consumenten via drinkwater aan nanodeeltjes oordeelde het RIVM in 2019 dat het beoordelen van het gezondheidsrisico van eventuele nanodeeltjes in drinkwater een lage prioriteit heeft en derhalve is dit nog niet uitgevoerd [2].

Normen en richtlijnen verklaard

Nanodeeltjes zijn binnen de Nederlandse en de Europese-regelgeving weliswaar gelijk aan chemische stoffen en de beoordeling van de milieu- en gezondheidsrisico's, maar de huidige kaders lijken niet goed te passen [1]. Of (ook) de signaleringswaarde uit de wet- en regelgeving ten aanzien van drinkwater voor deze deeltjes kan worden aangehouden, is niet duidelijk en kent nog geen afspraak als zodanig. Ten tijde van het opstellen van deze factsheet werd duidelijk dat bij het volgen van de EU-lijn de deeltjes als stoffen zouden worden moeten worden gezien en de deeltjes ook kunnen vallen onder de parameter 'overige antropogene stoffen'.

Onder de regelgeving voor de toelating van stoffen (REACH) hebben fabrikanten en importeurs de verantwoordelijkheid om aan te tonen dat hun stof geen schade toebrengt aan mens of milieu. Dit zou in principe eventuele risico's van nanodeeltjes moeten ondervangen [1]. Voor de risicobeoordeling van nanomaterialen is een goede karakterisering essentieel. De 'Technical Guidance Documents' (TGD) die binnen de bestaande kaders worden toegepast, lijken echter niet zonder meer toepasbaar op nanodeeltjes [1]. Nanodeeltjes behoren daarmee ten minste tot de categorie 'moeilijke stoffen', die 'case-by-case beoordeling' vergen. Sinds 2020 is REACH op enkele onderdelen aangepast [9] voor stoffen met eigenschappen van nanomaterialen [5].

Aanwezigheid in drinkwater(bronnen) en monitoring

De Nederlandse drinkwaterbedrijven hebben via het gezamenlijke onderzoeksprogramma en het project 'NanonextNL' bij KWR analysemethoden ontwikkeld en onderzoek laten uitvoeren naar nanodeeltjes en dan voornamelijk deeltjes op basis van goud en titanium. In Nederland zijn deze nanodeeltjes in oppervlaktewater gedetecteerd [6]. Nano-goud en nano-zilver zijn aangetoond in bronnen voor drinkwater, maar wel in zeer lage concentraties (0,1 – 0,9 ng/l) [11].

Om de concentratie aan nanodeeltjes in watermonsters te bepalen, worden geen routinematige metingen uitgevoerd. Specifieke en aspecifieke analysemethodes zijn beschikbaar, maar deze methodes zijn op dit moment uitsluitend geschikt voor een kwalitatieve bepaling van het al dan niet aanwezig zijn van (geaggregeerde) nanodeeltjes in watermonsters [1].

Zuivering

Het is de verwachting dat in bronnen voor drinkwater nanodeeltjes gebonden zullen zijn aan de aanwezige organische stof of vóórkomen als grotere clusters, die de zuivering niet kunnen passeren. Hierdoor kunnen die deeltjes niet in het bereide drinkwater terechtkomen [1]. Dit geldt mogelijk niet voor alle nanodeeltjes. Het wegvangen van nanodeeltjes gebeurt in de eerste plaats door [conventionele zuiveringsprocessen](#) [7].

[Coagulatie-flocculatie-sedimentatie](#) (CFS) kan een aanzienlijk deel (60%) van nano-gouddeeltjes verwijderen. Het verwijderen van NOM resulteert in een verbeterde verwijdering van nano-goud, terwijl de aanwezigheid van calcium- en magnesium-ionen een vereiste lijkt te zijn voor de vlokvorming en dus de verwijdering van nano-gouddeeltjes. Tevens is gebleken dat de verwijdering beter is bij een hogere pH. Bij de pH van drinkwater ligt de verwijdering tussen de 40 en 60% [11]. Ten slotte laten de filtratie-experimenten met actieve kool en zand zien dat beide materialen in staat zijn nano-goud en nano-zilver te verwijderen, al geven ze wel verschillende resultaten voor de watermatrix en de voorbelading [11].

Het onderzoek heeft zich tot nu toe vooral gericht op één type deeltjes aan nano-goud en -zilver, terwijl er veel meer types nanodeeltjes bestaan met een andere lading, grootte, chemische samenstelling en/of vorm. Ook ontbreekt nog een beeld van de andere zuiveringsprocessen die worden gebruikt bij de bereiding van drinkwater in Nederland. Tevens bestaat er nog geen universele methode voor het analyseren van nanodeeltjes. Dit maakt het onderling vergelijken van resultaten in de literatuur lastiger.

Referenties

- [1] Struijs, J., et al. (2007): 'Nanodeeltjes in water', rapport 607030001/2007, RIVM, Bilthoven.
<https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/607030001.pdf>
- [2] RIVM (2019): 'Nanodeeltjes in Nederlands drinkwater heeft lage prioriteit', Signaleringsbrief KIR-nano 2019 nummer 1, RIVM, Bilthoven.
<https://www.rivm.nl/kir-nano-signaleringsbrief-jaargang-10-nummer-1-maart-2019#nanodeeltjes-in-nederlands-drinkwater-heeft-lage-prioriteit-295171-more>
- [3] Westerhoff, P., Atkinson, A., Fortner, J., Wong, M.S., Zimmerman, J., Gardea-Torresdey, J., Ranville, J., and Herckes, P. (2018): 'Low risk posed by engineered and incidental nanoparticles in drinking water', Nature Nanotechnology, number 13, pages 661 – 669.
<https://www.nature.com/articles/s41565-018-0217-9>
- [4] European Commission: 'Definition of a nanomaterial'
https://ec.europa.eu/environment/chemicals/nanotech/faq/definition_en.htm
- [5] ECHA (2019): 'Get ready for new REACH requirements for nanomaterials'
<https://echa.europa.eu/nl/-/get-ready-for-new-reach-requirements-for-nanomaterials>
- [6] Bäuerlein, P.S., et al., (2017): 'Is there evidence for man-made nanoparticles in the Dutch environment?', Science of The Total Environment, volume 576, pages 273 – 283.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.09.206>
- [7] Bertelkamp, C., Bäuerlein, P., en Siegers, W. (2018): 'Nanodeeltjes in de drinkwaterzuivering - Meetcampagne, coagulatie-flocculatie en filtratie met actief-kool en zand', rapport BTO 2018.021, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.
<http://api.kwrwater.nl/uploads/2019/07/BTO-2018.021-Nanodeeltjes-in-de-drinkwaterzuivering-Meetcampagne-coagulatie-flocculatie-en-filtratie-met-actief-kool-en-zand.pdf>

- [8] Westra, J. (2015): 'Beoordeling van de gezondheids- en milieurisico's van nanodeeltjes; Een overzicht', RIVM Rapport 2014-0157, RIVM, Bilthoven.
<https://www.rivm.nl/sites/default/files/2018-11/Samenvatting%20%27Beoordeling%20van%20de%20gezondheids-%20en%20milieurisico%27s%20van%20nanodeel.pdf>
- [9] Europese Commissie (2018): 'Verordening 2018/1881 van de Commissie', 3 december 2018, Brussel.
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/NL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018R1881&from=EN>
- [10] Floris, R. (2017): 'Removal of engineered nanoparticles in drinking water treatment processes', thesis, University of Twente, Enschede.
<https://www.nanonextnl.nl/theses/removal-of-engineered-nanoparticles-in-drinking-water-treatment-processes/>
- [11] Bäuerlein, P., Siegers, W., Hofman-Caris, R., Cornelissen, E., en Bertelkamp, C. (2020): 'Hoe worden nanodeeltjes verwijderd in de drinkwaterzuivering?', H₂O vakbladartikel online via
<https://www.h2owaternetwerk.nl/vakartikelen/hoe-worden-nanodeeltjes-verwijderd-in-de-drinkwaterzuivering>

● Natrium

Grondslag norm: organoleptisch/esthetisch

Drinkwaterbesluit 2011: maximum waarde 150 mg/l (jaargemiddelde, met een maximum van 200 mg/l)

WHO 2022: geen richtwaarde

EU Drinkwaterrichtlijn 2020: parameterwaarde 200 mg/l

Herkomst

De aardkorst bestaat voor 2,83% uit natriumverbindingen. Natrium is daarmee het op zeven na meest voorkomende element op aarde. Uit spectrumlijnen van veel sterren blijkt natrium daar ook veelvuldig aanwezig te zijn. Naast de verschijning in keukenzout (natriumchloride) komt natrium ook veel voor in allerlei mineralen zoals amfibool, cryoliet, haliet en zeoliet. Natrium is bij kamertemperatuur een vast metaal dat zeer snel met de zuurstof uit de lucht reageert tot natriumoxide en met water tot natriumhydroxide en waterstof [1].

Natrium in drinkwater kan afkomstig zijn van verontreiniging van het oppervlaktewater door zoutlozingen en afvalwater, de aanwezigheid van zout of brak grondwater in de bodem en het gebruik van chemicaliën in de zuivering (bijvoorbeeld bij centrale ontharding met natriumhydroxide).

Blootstellingsroutes

Natrium is in de vorm van keukenzout (NaCl) in talloze producten verwerkt. De totale zoutopname hangt sterk samen met de samenstelling van de voeding. De bijdrage van drinkwater aan de totale inname van natrium is gering.

Gezondheidskundige betekenis

Natrium is van groot belang voor het functioneren van het lichaam. In het lichaam is het een van de elektrolyten (naast kaliumionen, chloride-ionen en kaliumwaterstofcarbonaat). Het helpt om de balans tussen het vocht in en buiten de cellen te handhaven door middel van osmose. Het ion is van belang bij een aantal transportmechanismen over het celmembraan. Het meeste natrium bevindt zich in het bloedplasma en speelt een rol in de vochtbalans van het lichaam. Net als kalium speelt natrium een belangrijke rol bij het overbrengen van zenuwimpulsen, hoofdzakelijk in het samentrekken van de spieren [1].

Dagelijks heeft het menselijk lichaam minimaal 1 tot 3 gram zout (NaCl) nodig om goed te kunnen functioneren. In Nederland wordt gemiddeld 10 tot 12 gram zout per dag genuttigd. Vooral kant-en-klaarmaaltijden bevatten veel zout, waarbij de pizza het hoogste scoort, maar ook in brood zit vrij veel zout en dan vooral in glutenvrij brood [1]. Een hoge zoutopname kan een factor zijn bij het ontstaan van hoge bloeddruk (hypertensie), wat tot hart- en vaatziekten kan leiden. De Gezondheidsraad adviseerde eind 2006 om niet meer dan 6 g zout (2,4 g natrium) per dag te eten. Nog minder zout zou beter zijn, maar dat is in de praktijk nauwelijks te realiseren omdat driekwart van het zout dat mensen eten binnenkomt via kant-en-klaar voedingsmiddelen, waarop de consument weinig invloed heeft [1]. De huidige lage concentraties zout in drinkwater dragen bij aan de benodigde minimale inname van zout en aan de (vaak te hoge) totale zoutinname. Daardoor is een nadelig effect van de zoutopname uitsluitend via drinkwater niet aan te tonen. De bijdrage van drinkwater aan de totale opname van natrium van flesgevoede zuigelingen en aan de totale opname van personen met een licht tot matig natriumbepoort dieet blijft tot een concentratie van 150 mg/l gering.

Normen en richtlijnen verklaard

De WHO geeft geen gezondheidkundige richtlijnwaarde voor natrium aan, omdat de bijdrage van drinkwater aan de totale blootstelling gering is. Een waarde van 200 mg/l of hoger kan aanleiding geven tot klachten van consumenten in verband met smaak [2].

De huidige maximum waarde voor natrium in het Drinkwaterbesluit is 150 mg/l (als jaargemiddelde, met een maximum van 200 mg/l). Voorheen was die waarde 120 mg/l met een mogelijkheid tot ontheffing tot 150 mg/l. Deze waarde was gebaseerd op een advies van de Gezondheidsraad uit 1980, waarin een maximale zoutopname van 6 g/dag/per volwassene is voorgesteld [3]. Uitgaande van een bijdrage van 10% door drinkwater aan de totale inname van zout, leidde dit tot een waarde van 120 mg/l. Internationaal heeft deze waarde onder kritiek gestaan, omdat niet kon worden aangetoond dat de inname van natrium via drinkwater een direct nadelig effect op de gezondheid veroorzaakt.

Aanwezigheid in drinkwater(bronnen) en monitoring

Natrium dient volgens de Drinkwaterregeling te worden gemeten in ruwwater en in het drinkwater na de laatste zuiveringsstap of aan het tappunt.

In ruw oppervlaktewater wordt natrium altijd aangetroffen boven de rapportagegrens. In 2019 vermeldt ILT een overschrijding van het maximale jaargemiddelde (150 mg/l) natrium bij drinkwaterbedrijf PWN, locatie Andijk. Deze waarneming leidde tot studies naar het zoutgehalte in het IJsselmeer en de invloed op de inname van water ten behoeve van drinkwater.

In REWAB is de mediaanconcentratie voor deze parameter tussen 2015 en 2020 38 mg/l. De maximale concentratie over de jaren lag tussen de 86 en 113 mg/l. Voor ruw grondwater was de mediaanconcentratie 16 mg/l en lagen de gemeten maxima tussen de 120 en 180 mg/l.

Tussen 2015 en 2020 is natrium na de laatste zuiveringstap of aan het tappunt in alle meetlocaties aangetroffen voor gevallen met zowel grond- als oppervlaktewater als bron. De mediaanconcentratie was 17 mg/l bij grondwater als bron en 46 mg/l bij oppervlaktewater als bron. De hoogst gemeten waarde in drinkwater met grondwater als bron was over de jaren heen jaren 106 tot 134 mg/l. Voor oppervlaktewater als bron is dit iets hoger: tussen de 117 en 181 mg/l.

Zuivering

Een gangbare methode om natrium uit water te verwijderen, is omgekeerde osmose (RO) [4]. Minder voor de hand liggende mogelijkheden zijn (vacuüm)destillatie en een kation-ionenwisselaar in de waterstof-vorm.

Referenties

[1] <https://nl.wikipedia.org/wiki/Natrium>.

[2] WHO. (2022). Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first and second addenda. WHO, Geneva.

[3] Van Dijk-Looijaard, A.M. (1993). Herziening Normen Waterleidingbesluit. SWO 93.340. KIWA, Nieuwegein.

[4] Moel P. de, Verberk J., van Dijk J.C.: (2006) Drinkwater: principes en praktijk. World Scientific Publishing Co., (2006), 1-413.

● Nitraat en nitriet

Grondslag norm: gezondheidskundig

Nitraat

Drinkwaterbesluit 2011: maximum waarde 50 mg/l

WHO: richtwaarde 50 mg/l

EG-Drinkwaterrichtlijn 1998: parameterwaarde 50 mg/l

Nitriet

Drinkwaterbesluit 2011: maximum waarde 0,1 mg/l

WHO: richtwaarde 3 mg/l (acute effecten) en 0,2 mg/l (effecten op de lange termijn)

EG-Drinkwaterrichtlijn 1998: parameterwaarde 0,5 mg/l (0,1 mg/l bij het verlaten van het pompstation)

Introductie

Stikstofverbindingen komen in het milieu onder andere voor in de vorm van ammonium (NH_4^+), nitriet (NO_2^-), nitraat (NO_3^-) en gebonden in organische stoffen (bijvoorbeeld eiwitten). Stikstof is een belangrijk nutriënt voor planten [1]. Ammonium kent een aparte factsheet in de Wegwijzer Waterkwaliteit. In 2020 is voor nitraat en nitriet een studie uitgevoerd naar de gecombineerde drinkwaterinname en vergelijking met inname via voedsel [4].

Herkomst

Nitraat komt voor in aeroob (ondiep) grondwater dat voor het belangrijkste deel afkomstig is uit meststoffen [1]. De intensiteit van natuurlijke en kunstmatige bemesting, en de samenstelling van de bodem bepalen in sterke mate de concentratie nitraat in het grondwater. Vooral de zandgronden (waar het grondwater niet wordt beschermd door een relatief slecht doorlatende klei- of veenlaag) laten nitraat relatief gemakkelijk doorsijpelen. De concentratie nitraat in grondwater vertoont relatief langzame veranderingen [1]. In oppervlaktewater komt nitraat voor door het lozen van huishoudelijk afvalwater en uitspoeling van nitraat in de bodem naar oppervlaktewater.

Nitriet komt vrijwel niet voor in grond- en oppervlaktewater. Het is niet stabiel en ontstaat als tussenproduct bij de omzetting van ammonium in nitraat. Daarnaast wordt het ook gevormd uit nitraat na inname via drinkwater of voedsel.

In praktijk is de beste maatregel om te voorkomen dat nitriet en nitraat in de bronnen voor drinkwater terecht komen door het beschermen van die bronnen en het reduceren van bemesting.

Blootstellingsroutes

De belangrijkste bron voor de mens om nitraat en nitriet binnen te krijgen, zijn bladgroenten zoals sla en spinazie en in mindere mate voedingsadditieven [1, 4]. In de praktijk wordt 4 – 8% van het ingenomen nitraat in de mondholte door bacteriën omgezet in nitriet [3]. Het aandeel vanuit de verschillende soorten voedsel en drinkwater is in beeld gebracht in een RIVM-studie [2].

Zowel de Europese Autoriteit voor Voedselveiligheid (EFSA) als het RIVM concluderen dat beperkende adviezen voor de consumptie van nitratrijke groente niet nodig zijn [3, 4].

Gezien het recente epidemiologisch onderzoek naar de relatie met onder meer kanker is er extra aandacht voor de concentraties in drinkwater en de mogelijke opties tot verlaging [2, 5]. In Nederland is de inname van nitraat via drinkwater berekend [3, 5]. In het RIVM-onderzoek is gerekend dat bij de maximale toegelaten waarde van 50 mg/l aan nitraat de inname via drinkwater tot circa 19% kan zijn, wat wordt aangemerkt als een substantiële bijdrage [4]. Voor zuigelingen die flesvoeding krijgen, ligt dat anders. Voor hen is drinkwater de enige bron van de totale opname van nitraat.

Gezondheidskundige betekenis

Nitraat is op zichzelf vrij onschuldig en de gezondheidskundige betekenis van nitraat in drinkwater en voeding wordt dan ook bepaald, omdat onder normale omstandigheden bij volwassenen nitraat in de speekselklieren wordt omgezet in het giftige nitriet. De gecombineerde beoordeling van nitraat en nitriet is dus relevant [2, 5].

Als nitriet in de bloedbaan terechtkomt, veroorzaakt het een ontregeling van het transport van zuurstof in het lichaam. Het gevolg hiervan kan in extreme gevallen blauwzucht zijn: een blauwe gelaatskleur met hersenletsel of verstikking als resultaat. Ook kan nitriet onder bepaalde omstandigheden in het lichaam worden omgezet in nitrosamines, die kankerverwekkend zijn [3].

Blauwzucht (methemoglobinemie of cyanose) kan vooral bij zuigelingen voorkomen die flesvoeding krijgen. Bij deze risicogroep is er sprake van een hoge zuurgraad in de maag, waardoor nitraat sneller in nitriet wordt omgezet. Het omzettingspercentage bedraagt bij zuigelingen 20% in plaats van 5% bij gezonde volwassenen. Bij de vaststelling van de maximum waarde van 50 mg/l is rekening gehouden met deze risicogroep.

Nitraat wordt ook wel eens in verband gebracht met een verhoogd risico op maag- of darmkanker, omdat nitriet samen met aminen (eiwitachtige stoffen) uit voedingsmiddel kankerverwekkende nitrosaminen vormen. Bij hoge concentraties nitriet in drinkwater kunnen er bij langdurige blootstelling negatieve effecten optreden op de bijnieren. Als er naast een verhoogde inname van nitraat ook sprake van een maagdarminfectie is, kan dit de omzetting van nitraat naar nitriet verhogen [1]. Door uitdroging wordt ook de inname van drinkwater verhoogd, wat meer inname van nitraat betekent [1]. Zuigelingen die flesvoeding krijgen, zijn extra gevoelig voor uitdroging. Bij de vaststelling van de maximum waarde van 50 mg/l is rekening gehouden met deze risicogroep.

Normen en richtlijnen verklaard

Voor het afleiden van normen voor nitraat en nitriet moet onderscheid worden gemaakt tussen volwassenen en zuigelingen die flesvoeding krijgen en tussen acute effecten en effecten op de lange termijn.

Volwassenen

Bij volwassenen treden pas bij zeer hoge concentraties nitraat acute gezondheidseffecten op. Dit in tegenstelling tot zuigelingen die flesvoeding krijgen. De WHO heeft voor effecten op de lange termijn een ADI vastgesteld voor nitraat van 3,7 mg/kg lichaamsgewicht. Een grenswaarde van 50 mg/l drinkwater afgeleid uit de ADI, biedt voor zowel acute effecten als effecten op de lange termijn voldoende bescherming.

Voor nitriet is een ADI vastgesteld van 0,06 mg/kg lichaamsgewicht. Deze ADI leidt tot een voorlopige WHO drinkwater-richtlijnwaarde van 0,2 mg/l nitriet.

In het [Drinkwaterbesluit](#) zijn de volgende maximum waarden opgenomen: 0,1 mg/l nitriet en 50 mg/l nitraat. Tevens moet worden voldaan aan de voorwaarde dat $[\text{nitraat}]/50 + [\text{nitriet}]/3 < 1$, waarbij de rechte haken de concentratie in mg/l uitdrukken, voor nitraat in NO_3 en voor nitriet in NO_2 .

Flesgevoede zuigelingen

Voor zuigelingen spelen acute gezondheidseffecten de grootste rol (blauwzucht bij een hoge inname van nitraat). Epidemiologische en klinische studies geven volgens de WHO aan dat een concentratie nitraat van 50 mg/l ook voor deze groep voldoende bescherming biedt tegen blauwzucht. De laagste dosis nitriet die direct resulteert in vorming van blauwzucht bij zuigelingen is

0,4 mg/kg lichaamsgewicht. Dit resulteert in een WHO drinkwater-richtlijnwaarde voor nitriet van 3 mg/l. De waarde voor volwassenen van 0,1 mg/l ([Drinkwaterbesluit](#)) biedt voldoende bescherming tegen de acute effecten van nitriet.

Bij zuigelingen die een infectie met nitraat-reducerende bacteriën hebben, kan meer nitraat tot nitriet worden omgezet in de speekselklieren (circa 80% in plaats van 20% bij gezonde zuigelingen). Met de thans beschikbare wetenschappelijke studies kan echter nog geen norm voor deze zieke zuigelingen worden gegeven. De veiligheidsmarge bij een drinkwater-richtlijnwaarde van 50 mg/l zou voor deze specifieke groep relatief laag kunnen zijn. Voor deze hele kleine groep zuigelingen zou daarom uit voorzorg het advies kunnen worden gegeven om bron- of mineraalwater met een lage concentratie aan nitraat te geven. De Nederlandse Gezondheidsraad heeft geconcludeerd dat blauwzucht bij flesgevoede zuigelingen waarschijnlijk uitsluitend optreedt bij zuigelingen met maagdarminfecties en nitraat-reducerende bacteriën. Bij deze groep wordt nitraat nog sneller omgezet in nitriet en is er ook sprake van een verhoogde synthese van nitraat in het lichaam. Vanwege de goede hygiënische omstandigheden in ons land treedt dit type infectie volgens het RIVM nog zelden op.

Aanwezigheid in drinkwater(bronnen) en monitoring

Nitraat

In ons land kan de concentratie nitraat in grondwater dat wordt gebruikt voor de bereiding van drinkwater variëren. De gemiddelde meetwaarde in 2018 in grondwater is 1,8 mg/l. Deze waarde is gedaald in de afgelopen tien jaar. In 2018 is de gemiddelde minimale waarde 1,3 mg/l en de gemiddelde maximale waarde 2,6 mg/l.

In oppervlaktewater ligt de meetwaarde in 2018 over de verschillende oppervlaktelocaties over het algemeen rond de 9,6 mg/l. Deze waarde is gedaald in de afgelopen tien jaar. In 2018 is de minimale waarde gemiddeld over de locaties rond de 4,7 mg/l en de maximale waarde gemiddeld 15,8 mg/l (data [RIWA](#)). De gemiddelde concentratie van nitraat in meetlocaties bij de Rijn en Maas kent een dalende trend. De kwaliteitseis van 50 mg/l voor nitraat in oppervlaktewater dat is bestemd voor de bereiding van drinkwater wordt niet overschreden (data [RIWA](#)).

Nitraat moet door de Nederlandse drinkwaterbedrijven ook worden gemeten aan het tappunt of na de laatste zuiveringsstap. Uit REWAB volgt dat in drinkwater de gemiddelde meetwaarde 3,7 mg/l was in 2018. Deze waarde is gedaald in de afgelopen vijf jaar. In 2018 is de gemiddelde minimale waarde 2,9 mg/l en de gemiddelde maximale waarde 4,8 mg/l. In een recente studie staat een overzicht waarin is gerekend met een gemiddelde concentratie nitraat in drinkwater in het leidingnet van 4,7 mg/l over de jaren 2007 – 2012 [2].

Nitriet

Nitriet komt eveneens in kleine concentraties voor in grond- en oppervlaktewater. De gemiddelde concentratie nitriet in het water van de Rijn bedroeg in het verleden 0,19 mg/l (1995). Deze waarde is gedaald in de afgelopen tien jaar. De meetwaarde in 2018 ligt over de verschillende oppervlaktelocaties rond de 0,08 mg/l. In 2018 is de minimale waarde gemiddeld over de locaties rond de 0,03 mg/l en de maximale waarde gemiddeld 0,19 mg/l ([RIWA](#) data).

De grenswaarde van nitriet wordt nergens overschreden en het gemiddelde minimum, maximum en gemiddelde meetwaarde in 2018 in grondwater zijn beneden de detectielimiet (in REWAB). Nitriet moet door de Nederlandse drinkwaterbedrijven worden gemeten aan het tappunt. Ook hier geldt dat minimum, maximum en gemiddelde meetwaarde in 2018 beneden de detectielimiet in drinkwater liggen.

Zuivering

Voor drinkwater is het van belang dat nitraat kan worden omgezet in het giftige nitriet. Nitraat in drinkwater kan worden gevormd bij de behandeling van anaeroob grondwater met ammonium. In een snelfilter aanwezige nitrificerende bacteriën zetten ammonium via nitriet om in nitraat. Ze gebruiken daarbij zuurstof. Nitriet en nitraat kunnen ook worden gevormd ná de zuivering, bijvoorbeeld als de verwijdering van ammonium niet volledig was. Dit kan bijvoorbeeld bij lage temperaturen, onvoldoende zuurstof in het water of limitering van de nitrificerende bacteriën

door een te geringe concentratie fosfaat in het te behandelen water. In dat geval kan nitriet worden gevormd door nitrificatie in het leidingnet [1].

Er zijn diverse methoden om de concentratie nitraat in grondwater te reduceren. Een in ons land gangbare manier is de menging met ander water met minder nitraat [1], denitrificatie of een combinatie van beide maatregelen. Bij denitrificatie wordt grondwater over kalksteen en zwavel geleid. Er komen bacteriën aan te pas die alle zuurstof uit het aanwezige nitraat verbruiken, zodat er uiteindelijk stikstofgas overblijft. Afhankelijk van de verblijftijd van het grondwater, wordt de concentratie nitraat verlaagd of volledig verwijderd. Ook met [elektrodialyse](#), [RO](#) en [ionenwisseling](#) kan de concentratie nitraat worden gereduceerd.

Deze (aanvullende) technieken worden in ons land niet op grote schaal toegepast. Wel zijn proefinstallaties gebouwd om de effectiviteit te testen voor het bereiken van een lagere concentratie nitraat. De wens is om lagere concentraties te bereiken is ingegeven door de zorg om de mogelijke gezondheidseffecten en een mogelijke aanpassing van de normstelling.

[Conventionele zuiveringsprocessen](#) voor oppervlaktewater ([coagulatie](#), [flocculatie](#), [sedimentatie](#), gevolgd door [filtratie](#)) zijn niet effectief om nitraat te verwijderen. Nitraat is stabiel, zeer oplosbaar en adsorbeert niet. Met een aanvullende stap als [RO](#) en [ionenwisseling](#) kan de concentratie nitraat worden gereduceerd. Andere technieken zijn meestal gebaseerd op biologische omzettingen, zoals onder zuurstofloze omstandigheden waarin nitraat door bacteriën kan worden omgezet in stikstof. Wel is een aandachtspunt dat hier sulfaat (en nitriet) niet te hoog wordt. In sommige gevallen wordt een hulpstof toegevoegd, wat kan leiden tot vermindering van de biologische stabiliteit van het water. Hierdoor is dan weer een extra nazuivering noodzakelijk.

Referenties

[1] World Health Organization (2017): 'Guidelines for drinking-water quality; Fourth edition incorporating the first addendum', ISBN 978-92-4-154995-0, Geneva.

<https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/254637/9789241549950-eng.pdf;jsessionid=2664217407E6F72C0DD4BA2B94E7D61B?sequence=1>

[2] Brand, A.D. van den, Beukers, M., Niekerk, M., Donkersgoed, g. van, Aa, M. van der, Ven, B. van de, Bulder, A., Voet, H. van der, en Sprong, C.R. (2020): 'Assessment of the combined nitrate and nitrite exposure from food and drinking water: application of uncertainty around the nitrate to nitrite conversion factor', Food Additives & Contaminants, Part A, 37:4, pages 568 – 582.

<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/19440049.2019.1707294>

[3] Voedingscentrum (2020): 'Adviezen nitraat en nitratrijke groente', factsheet.

[https://www.voedingscentrum.nl/Assets/Uploads/voedingscentrum/Documents/Professionals/Per s/Factsheets/Factsheet%20Nitraat.pdf](https://www.voedingscentrum.nl/Assets/Uploads/voedingscentrum/Documents/Professionals/Per%20Factsheets/Factsheet%20Nitraat.pdf)

[4] Sprong, R.C., Brand A.D. van den, Aa N.G.F.M. van der, Ven, B.M. van de, Bulder, A.S. (2020): 'Combined exposure to nitrate and nitrite via food and drinking water in The Netherlands', RIVM letter report 2020-0003, RIVM, Bilthoven.

<https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2020-0003.pdf>

[5] Schullehner, J., Hansen, B., Thygesen, M., Pedersen, C.B., and Sigsgaard, T. (2018): 'Nitrate in drinking water and colorectal cancer risk: A nationwide population-based cohort study', International Journal of Cancer, volume 143, number 1, pages 73 – 79.

[Nitrate in drinking water and colorectal cancer risk: A nationwide population-based cohort study \(ucdavis.edu\)](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30111111/)

• N-nitrosodimethylamine (NDMA)

Grondslag norm: gezondheidkundig

Drinkwaterbesluit 2011: maximum waarde 12 ng/l (0,012 µg/l)

WHO 2022: richtwaarde 0,1 µg/l

EU Drinkwaterrichtlijn 2020: geen vermelding

Herkomst

N-nitrosodimethylamine (NDMA) is een stof uit de familie van de nitrosoamines. De stof wordt gevormd als bijproduct in industriële processen waarbij nitraten en/of nitrieten in combinatie met amines worden gebruikt [1]. Tabaksrook bevat relatief grote hoeveelheden NDMA [1]. N-nitrosodimethylamine kan in drinkwater voorkomen door de afbraak van dimethylhydrazine (een bestanddeel van onder andere raketbrandstof), industriële processen en als verontreiniging van bepaalde pesticiden [2].

Ook tijdens zuiveringsstappen met ozon of chloor kan NDMA worden gevormd [1]. Dit is bijvoorbeeld onderzocht voor de stof dimethylsulfamide (DMS), een metaboliet van de fungicide tolylfluanide en het antifoulingmiddel dichlofluanide [3]. Zowel onder natuurlijke omstandigheden als in een industriële omgeving kan NDMA worden gevormd onder invloed van dimethylamine (DMA) [4].

Blootstellingsroutes

Gebaseerd op een worst-case-schatting van de blootstelling aan NDMA in verontreinigde lucht, water en voedsel zou de dagelijkse opname van een 20- tot 59-jarige 0,005 – 0,016 µg/kg lichaamsgewicht per dag zijn [1]. De dagelijkse inname van NDMA door drinkwaterconsumptie is geschat op 0,0003 – 0,001 µg/kg lichaamsgewicht, gebaseerd op een gemiddelde concentratie NDMA van 12 ng/l en een maximum van 40 ng/l [1]. Drinkwater levert dus een geringe bijdrage aan de totale blootstelling aan NDMA. In een huis zonder tabaksrook vormt voedsel de belangrijkste blootstellingsroute. Als er binnenshuis regelmatig wordt gerookt, overtreft de rook alle andere blootstellingen met bijna een factor 10 [1].

Gezondheidkundige betekenis

NDMA heeft een sterk carcinogeen effect en is acut toxisch [1]. Ook is voor NDMA een genotoxische werking aangetoond. Op basis van voldoende bewijs bij proefdieren wordt NDMA als waarschijnlijk carcinogeen voor de mens beschouwd (IARC groep 2A). Veruit het merendeel van het uitgevoerde proefdieronderzoek betreft de orale route. Het meest gevoelige eindpunt in studies met ratten was de vorming van goedaardige gezwellen met cysten in de lever en galwegen waarbij bij een dosis van 18 µg/kg/dag 5% meer tumoren werden gevonden in de aan NDMA blootgestelde ratten [1].

Normen en richtlijnen verklaard

Door de WHO [1] is op basis van een TD₅ (een dosis waarbij een toename van 5% in het voorkomen van tumoren is gevonden) van $2,77 \times 10^{-3}$ µg/kg/dag in een tweejarige studie met ratten en een 10⁻⁵ risicogrens bij levenslange blootstelling voor NDMA een voorlopige richtwaarde van 0,1 µg/l bepaald voor inname via drinkwater. In Nederland geldt voor NDMA een maximum waarde van 12 ng/l. NDMA bevindt zich op zowel de CMR-lijst (carcinogeen, mutageen en reprotoxisch) als de ZZS-lijst (zeer zorgzame stoffen) [5].

Aanwezigheid in drinkwater(bronnen) en monitoring

Voor NDMA geldt volgens de Drinkwaterregeling een meetverplichting in oppervlaktewater, omdat de stof in die grondstof aanwezig kan zijn. De verplichting geldt ook voor drinkwater (na de laatste zuiveringsstap of aan het tappunt) als daartoe aanleiding is.

In ruw grondwater (veertien gerapporteerde waarden in REWAB) wordt de stof niet aangetroffen in de jaren 2015 – 2020. In ruw oppervlaktewater (43 gerapporteerde waarden) wordt de stof in 26% van de locaties aangetroffen. De maxima liggen dan tussen de 1 en 5,5 ng/l.

Voor NDMA na de laatste zuiveringstap of aan het tappunt zijn in REWAB 38 metingen beschikbaar, waarvan 29 met bron oppervlaktewater en 9 met bron grondwater. De rapportagegrenzen liggen tussen de 1 – 2 ng/l. Op slechts één locatie (met oppervlaktewater als bron) is de stof in 2020 aangetroffen op de rapportagegrens van 1 ng/l (en dus niet op de andere locaties).

Zuivering

NDMA is een zeer polaire stof die daarom heel mobiel is en zich moeilijk laat verwijderen uit het water [6]. Daarnaast is de stof niet biologisch afbreekbaar en vervluchtigt die niet. NDMA wordt niet verwijderd door actieve-koolfiltratie. RO vermindert weliswaar de concentratie NDMA, maar leidt niet tot een volledige verwijdering [6]. Dit blijkt ook uit de studie van Verliefde [67] waarin NF/RO in combinatie met actieve-koolfiltratie NDMA niet kon verwijderen, waarschijnlijk doordat de stof zowel klein en compact is als sterk hydrofiel. Tijdens waterbehandeling met chloor of ozon kan NDMA worden gevormd. Hoge doses UV kunnen NDMA afbreken tot DMA en nitriet. Voor een verwijdering van 90% NDMA is een UV-dosis van 1.000 mJ/cm² nodig. In een onderzoek van Sharpless en Linden [8] resulteerden zowel toepassing van lage- als middendruk lampen in een effectieve afbraak van NDMA. Toevoeging van 100 mg/l waterstofperoxide leidde bij de lagedruk lamp tot een 30% efficiëntere verwijdering.

Referenties

- [1] WHO. (2008). N-Nitrosodimethylamine in Drinking-water - Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality. WHO/HSE/AMR/08.03/8. WHO, Geneva.
- [2] WHO (2022) Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first and second addenda. Geneva.
- [3] Schmidt C.K., Brauch H.J., (2008). N,N-dimethylsulfamide as precursor for N-nitrosodimethylamine (NDMA) formation upon ozonation and its fate during drinking water treatment. Environ. Sci. Technol. 1, 6340-6346.
- [4] Siegers W. (2004) Verwijdering van NDMA in de drinkwaterzuivering. BTO-rapport 2004.034. KWR, Nieuwegein.
- [5] <https://rvszoeksysteem.rivm.nl/>.
- [6] Mitch W.A., Sharp J.O., Rhodes Trussell R., Valentine R.L., Alvarez-Cohen L., Sedlak D.L. (2004). N-Nitrosodimethylamine (NDMA) as a drinking water contaminant: A review. Environ. Engin. Sci. 20, 389-404.
- [7] Verliefde A. (2008). Rejection of organic micropollutants by high pressure membranes (NF/RO). Water Management Academic Press. ISBN 978-90-8957-005-5. NUR 956. PhD Thesis. TU Delft.
- [8] Sharpless C.M., Linden K.L. (2003). Experimental and model comparisons of low- and medium-pressure Hg lamps for the direct and H₂O₂ assisted UV photodegradation of N-nitrosodimethylamine in simulated drinking water. Environ. Sci. Technol. 37: 1933-1940.

● Nikkel

Grondslag norm: gezondheidkundig

Drinkwaterbesluit 2011: maximum waarde 20 µg/l

WHO, 2017: richtwaarde 70 µg/l

EU Drinkwaterrichtlijn 2020: parameterwaarde 20 µg/l

Herkomst

Nikkel is een natuurlijk voorkomend wit en hard metaal dat over de gehele wereld in de aardkorst voorkomt [1]. Verder komt nikkel in het milieu voor een aanzienlijk deel voort uit atmosferische depositie en slechts voor een klein deel uit bemesting. Daarnaast is in het verleden zuiveringsslib (met daarin nikkel) als meststof gebruikt. Nikkel heeft een hoog adsorberend vermogen en accumuleert hierdoor in de bovengrond. Indirect draagt de landbouw bij aan verhoogde concentraties nikkel in het grondwater. Uitspoeling van nitraat door bemesting kan leiden tot pyrietoxidatie, waarbij zware metalen als nikkel vrijkomen. Verzuuring van de bodem draagt bij aan een versnelling van dit proces. Bij een lage pH kan nikkel oplossen in grondwater en zijn er hoge concentraties nikkel in het grondwater mogelijk. De emissie van nikkel naar de bodem is afgenomen tussen 1990 en 2010. Sindsdien is de landelijke emissie tussen de 8.000 en 9.000 kg per jaar [2].

Nikkel wordt voornamelijk gebruikt bij de productie van roestvaststaal (RVS), in legeringen met koper, ijzer, chroom of kobalt, in oplaadbare batterijen en in muntgeld (€ 1,-- en € 2,--) [3].

Nikkel kan behalve via de bronnen voor de bereiding van drinkwater ook direct in drinkwater terechtkomen via verchromde kranen en andere materialen die zijn toegepast in drinkwaterleidingen binnenshuis [1].

Blootstellingsroutes

Nikkel is een van de meest gebruikte metalen. De blootstelling aan nikkel via de lucht vindt plaats door de uitstoot van nikkel door industrieën. In voeding schommelt het gehalte tussen 0,01 tot 0,1 mg/kg. Er is echter een grote variatie. Plantaardig voedsel bevat in het algemeen meer nikkel dan voedsel van dierlijke oorsprong zoals vlees, vis en honing [1]. In onder andere chocola, cacao, sojabonen, gedroogde groenten en noten kan het gehalte nikkel (veel) hoger zijn dan 1 mg/kg. De gemiddelde dagelijkse inname wordt geschat op 200 µg/dag. De bijdrage van drinkwater aan de totale inname (via lucht, voedsel en water) is gering [1].

Gezondheidkundige betekenis

Indien nikkel via water of voedsel wordt opgenomen, is het relatief weinig giftig. Acute nikkelvergiftigingen (uitmondend in symptomen als misselijkheid, diarree, hoofdpijn en kortademigheid) komen weinig voor en uitsluitend bij zeer hoge doses nikkel [1]. Blootstelling van de huid met nikkelverbindingen kan leiden tot nikkelallergie [1]. Daarom zijn via Europese regelgeving strikte beperkingen opgelegd aan de afgifte van nikkel door sieraden, textielaccessoires, en piercings. Dit heeft geleid tot een gedaalde prevalentie van nikkelallergie in Europa. Er worden echter nikkelhoudende materialen uit niet-Europese landen geïmporteerd, er is een gebrek aan controle op de toepassing van de bestaande wetgeving en nikkel kan aanwezig zijn in veel andere metalen voorwerpen [5]. Personen met nikkelallergie kunnen bij inname van hoge doses nikkel via voedsel of water eczeem krijgen [1].

Normen en richtlijnen verklaard

Op basis van toxicologisch onderzoek met ratten heeft de EFSA in 2020 een ondergrens van het betrouwbaarheidsinterval van de benchmark dosis (BMD) die is gerelateerd aan een 10%-toename in kankerrisico (BMDL10) vastgesteld van 1,3 mg/kg lichaamsgewicht per dag. De WHO heeft hierop een onzekerheidsfactor van 100 toegepast (10 voor verschillen tussen rat en mens en 10 voor

intraspecies variatie) en een toelaatbare dagelijkse inname (TDI) afgeleid van 13 mg/kg lichaamsgewicht per dag. Hieruit wordt een veilige concentratie in drinkwater afgeleid van 80 mg/l, waarbij rekening is gehouden met 20% bijdrage van drinkwater [4], een lichaamsgewicht van 60 kg en 2 liter waterconsumptie per dag [1]. De opname van nikkel uit water is wel veel hoger dan uit voedsel [1]. De nieuwe richtwaarde is hoger dan de dan toe gehanteerde richtwaarde van 70 µg/l. De WHO handhaaft echter de richtwaarde van 70 µg/l, omdat de BMD berekeningen sowieso een bepaalde onzekerheid hebben en het verschil tussen de oorspronkelijk en voorgestelde waarde klein is [1].

De grenswaarde in zowel het Drinkwaterbesluit als de Europese Drinkwaterrichtlijn bedraagt 20 µg/l. Deze waarde is gebaseerd op toxicologisch onderzoek uit de jaren zeventig van de vorige eeuw [6]. De grenswaarde is niet verruimd naar aanleiding van het recente toxicologisch onderzoek.

Aanwezigheid in drinkwater(bronnen) en monitoring

Nikkel moet volgens de Drinkwaterregeling aan het tappunt worden gemeten volgens de 'Random Day Time' (RDT) methode. Sinds 2004 wordt dit volgens de RDT-methode (Random Day Time) uitgevoerd aan de hand van het 'Protocol voor de bemonstering van zware metalen' [10]. Als oppervlaktewater als grondstof wordt gebruikt, dient het ook in het ruwe water te worden gemeten.

In 13.913 RDT-monsters uit de periode 2004 tot 2011 is 99,0% van de gemeten waarden lager dan 20 µg/l. 121 waarden waren hoger dan 20 µg/l en 15 hoger dan 100 µg/l. De hoogste gemeten waarde bedroeg 824 µg/l. Het percentage monsters met een concentratie nikkel hoger dan de maximum waarde is vergelijkbaar bij de verschillende drinkwaterbedrijven [7]. Uit de REWAB-rapportage blijkt dat tussen 2015 en 2020 nikkel in nagenoeg alle monsters aan het tappunt gevonden wordt (waarbij oppervlaktewater de grondstof was). In het geval grondwater de grondstof is, is dit rond de 71% van de locaties. Dit percentage stijgt over de jaren. Dit kan te maken hebben met het verlagen van de rapportagegrens van 1 µg/L naar 0,5 µg/l. De mediaan van de metingen ligt voor oppervlaktewater als bron op 2,4 µg/l. Voor grondwater als grondstof is dit lager, onder de rapportagegrens. Het gemeten maximum per jaar over alle locaties ligt voor oppervlaktewater als grondstof tussen 2015 tot 2017 rond de 50 en in 2017 tot 2020 zijn er enkele locaties met uitschieters rond de 240 µg/l. Voor grondwater als bron ligt het maximum over de jaren tussen 35 tot 564 µg/l.

In de ILT-rapportages over de jaren 2015 – 2021 staan overschrijdingen van de maximum waarde in drinkwater, maar uitsluitend incidenteel (1 – 2 per jaar, zoals in 2015, 2019 en 2021). In 2015 wordt erbij vermeld dat het is geconstateerd bij de binnenhuisinstallatie en dat de bewoners zijn geïnformeerd. In de rapportage van 2021 staat dat herhalingsmetingen geen overschrijding van het jaargemiddelde lieten zien.

In ruw oppervlaktewater wordt nikkel in 77% van de locaties aangetroffen. De rapportagegrens is hier 0,5 tot 2 µg/l. De mediaanconcentratie ligt onder de hoogste rapportagegrens. Gemeten maxima zijn rond de 6 µg/l.

Zuivering

Conventionele zuiveringen voor oppervlaktewater bestaande uit coagulatie, sedimentatie en filtratie kunnen 35 tot 80% verwijdering van nikkel bewerkstelligen, afhankelijk van coagulant-dosis en pH. Nikkelverwijdering gaat beter in water met een hoge concentratie aan humuszuren. Het toevoegen van poederkool of deeltjes aan water met weinig deeltjes bevordert de verwijdering van nikkel. Een pH van 8 is optimaal voor verwijdering van nikkel.

Bij het verwijderen van nikkel uit grondwater moet de pH > 8,2 zijn. Verwacht wordt dat nikkel aan mangaanoxiden adsorbeert. In het geval grondwater onvoldoende mangaan bevat, kan dosering van mangaanchloride worden overwogen [8]. Effectieve verwijdering van nikkel (80 tot 90%) uit grondwater kan eventueel ook plaatsvinden met ionenwisselaars [1]. RO membranen kunnen nikkel tot circa 80% verwijderen [9].

Referenties

- [1] WHO (2021). Nickel in drinking-water. Background document for development of WHO *Guidelines for drinking-water quality*. WHO/HEP/ECH/WSH/2021.6. WHO, Genève.
[Microsoft Word - second addendum nickel.doc \(who.int\)](#)
- [2] RIVM Nikkel toestand <https://www.rivm.nl/landelijk-meetnet-grondwaterkwaliteit/resultaten/nikkel>.
- [3] <https://nl.wikipedia.org/wiki/Nikkel>.
- [4] WHO Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first and second addenda. Geneva: World Health Organization; 2022.
[9789240045064-eng \(2\).pdf](#)
- [5] Goossens, A. (2018). Contactallergie: What's new? Ned. Tijdsch. Dermatologie Venerologie 28 (2): 29-31.
- [6] Van Dijk-Looijaard, A.M. (1993). Herziening Normen Waterleidingbesluit. SWO 92.294. KIWA, Nieuwegein.
- [7] Slaats, N., Blokker, M., Versteegh, A. (2014). Lood, koper en nikkel in het Nederlandse drinkwater aan de tap. H2O-Online 28 oktober 2014.
[1410-09 Metalen in drinkwater \(h2owaternetwerk.nl\)](#)
- [8] Reijnen, G.K., Keltjens, L.L.M., Bekkers, A.J.M.E., Peters, E (1998) 'Nikkelverwijdering uit grondwater door aanpassen bestaande zuivering' H2O 6-1998 blz. 27-31
- [9] Seyed Mohsen Samaei, Shirley Gato-Trinidad, Ali Alta (2020) 'Performance evaluation of reverse osmosis process in the post-treatment of mining wastewaters: Case study of Costerfield mining operations, Victoria, Australia' Journal of Water Process Engineering 34 (2020) 101116
- [10] [Inspectierichtlijn Harmonisatie Meetprogramma Drinkwaterkwaliteit](#)

● Polychloorbifenylen (PCB's)

Grondslag norm: gezondheidskundig

*Drinkwaterbesluit 2011: maximum waarde 0,1 µg/l per individuele PCB
maximum waarde 0,5 µg/l som van gespecificeerde verbindingen met
concentratie > 0,05 µg/l
De gespecificeerde verbindingen zijn: PCB nr. 28, 52, 101, 118, 138, 153
en 180*

WHO 2022: geen richtwaarde

EU Drinkwaterrichtlijn 2020: geen parameterwaarde

Herkomst

PCB's (Polychloorbifenylen) zijn een klasse van 209 organische stoffen met 1 tot 10 chlooratomen die vastzitten aan bifenyl. De meeste PCB's zijn kleurloze en geurloze kristallen. De commerciële mengsels zijn heldere viskeuze vloeistoffen. Hoe meer chlooratomen in de moleculen, hoe viskeuzer de PCB is (doorgaans).

De algemene eigenschappen van PCB's zijn de slechte oplosbaarheid in water en de lage dampspanning. PCB's lossen wel makkelijk op in de meeste organische oplosmiddelen en ook in olie en vet. De commerciële bruikbaarheid van PCB's was grotendeels op de chemische stabiliteit gebaseerd, samen met de onbrandbaarheid. Bovendien zijn PCB's een elektrische isolator, in tegenstelling tot op water gebaseerde vloeistoffen. PCB's zijn zeer stabiele stoffen die niet makkelijk uiteenvallen en blijven daardoor lang in het milieu aanwezig. PCB's zijn op zeer uiteenlopende manieren toegepast: als isolatievloeistof in transformatoren en condensatoren, als hydraulische vloeistof, koelvloeistof, smeermiddel en als brandvertrager en stabilisator in kunststoffen, en verder in verf, inkt, lak, kit en lijm. Aangezien productie en gebruik van PCB's sinds 1985 volledig zijn verboden, zijn dit soort PCB-houdende producten al lange tijd niet meer in de handel. Desondanks ligt er in de Nederlandse bodem en in het slib nog een erfenis, aangezien PCB's ruim 50 jaar zijn toegepast in industrie en techniek. En ook zijn er nog steeds transformatoren en condensatoren in gebruik die PCB's bevatten. Het overheidsbeleid is erop gericht deze apparaten zo snel mogelijk te reinigen of te verwijderen [1].

Blootstellingsroutes

In het geval er blootstelling aan PCB's plaatsvindt, is dat via het voedsel, met name via dierlijke producten [1]. PCB's zijn 'legacy compounds': er zijn grote hoeveelheden in het milieu terechtgekomen. Omdat het persistente stoffen met bioaccumulerende eigenschappen zijn, worden zij nog steeds aangetroffen in zowel voedingsmiddelen, mens als milieu [3, 7].

Gezondheidskundige betekenis

De via het voedsel opgenomen PCB's worden opgeslagen in het lichaamsvet. Dit geldt ook voor baby's. Al in de baarmoeder wordt een foetus aan de in het lichaam van de moeder opgeslagen stoffen blootgesteld en later via de moedermelk. PCB's worden in verband gebracht met verstoring van de ontwikkeling van jonge kinderen. Uit onderzoek is echter gebleken dat vooral de blootstelling vóór de geboorte van grote invloed is [8]. De ontwikkeling van kinderen die borstvoeding hebben gekregen doet niet onder voor die van met de fles gevoede kinderen. De positieve aspecten van moedermelk (zoals de samenstelling met belangrijke afweerstoffen voor de baby) zijn dus belangrijker dan de mogelijke nadelen van de aanwezigheid van PCB's of andere stoffen [1].

PCB's kunnen leverschade veroorzaken en het optreden van kanker bevorderen (carcinogeen). Ze kunnen geboortefwijkingen veroorzaken (teratogeen), het afweersysteem aantasten met verminderde immuniteit tot gevolg, en het zenuwstelsel nadelig beïnvloeden. Ook kunnen PCB's een versturende invloed uitoefenen op de hormoonhuishouding. Dit betreft zowel de geslachtshormonen, met een mogelijke verminderde vruchtbaarheid als gevolg, als

schilddklierhormonen [1, 9].

PCB's staan op de RIVM-lijst van Zeer Zorgwekkende Stoffen (ZZS) [2].

Gemiddeld krijgen Nederlanders zo weinig PCB's binnen dat er geen sprake is van een effect op de gezondheid [3].

Normen en richtlijnen verklaard

PCB's zijn kankerverwekkende stoffen. Voor de herziening van het toenmalige Waterleidingbesluit in het begin van de jaren 90 van de vorige eeuw was van de meeste individuele PCB's de toxicologische database van dien aard dat een grenswaarde voor drinkwater moeilijk te bepalen was. Destijds is daarom een grenswaarde van 0,1 µg/l vastgesteld, die overeenkomt met de aantoonbaarheidsgrens voor het totaal aan PCB's. De maximum waarde van 0,5 µg/l voor de som van de zeven expliciet genoemde PCB's (PCB-28, PCB-52, PCB-101, PCB-118, PCB-138, PCB-153 en PCB-180) werd als voldoende beschermend geacht [4]. Daarnaast wordt er streng gecontroleerd op de aanwezigheid van PCB's in voeding.

Genoemde maximum waarden zijn in de afgelopen 30 jaar in de Nederlandse wet- en regelgeving gehandhaafd. Het feit dat de WHO geen aandacht besteedt aan PCB's in drinkwater en de parameter ook niet in de Europese Drinkwaterrichtlijn is opgenomen, laat het sterk afgenomen belang van PCB's voor de drinkwaterkwaliteit zien.

Aanwezigheid in drinkwater(bronnen) en monitoring

De parameter 'PCB's' wordt volgens de Drinkwaterregeling bepaald in drinkwater aan het tappunt of na de laatste zuiveringsstap. Daarbij gaat het om (i) de som van stoffen met een concentratie > 0,05 µg/l (sompparameter) en (ii) de individuele PCB's met de nummers 28, 52, 101, 118, 138, 153 en 180.

Tussen 2015 en 2020 wordt van de zeven individuele PCB's na de laatste zuiveringsstap uitsluitend 2,2',4,5,5'-pentachloorbifenyyl (PCB 101) in 2016 eenmaal boven de rapportagegrens gemeten. Voor alle stoffen ligt de rapportagegrens tussen de 0,01 – 0,05 µg/l.

Tussen 2015 en 2020 is in water na de laatste zuiveringsstap de somparameter PCB's niet boven de rapportagegrens aangetroffen. In de ILT rapportages worden geen overschrijdingen gerapporteerd.

De meetresultaten laten zien dat PCB's bijna niet meer worden aangetoond in drinkwater. Met de invoering van het risico-gestuurd meetprogramma vermindert de frequentie van deze 'oude stoffen' hiermee in de door de drinkwaterbedrijven opgestelde meetprogramma's [5]. De PCB's dienen in dat kader ten minste eens in de vijf jaar te worden gemeten.

Onlangs is een studie gepubliceerd waaruit blijkt dat er veel industriële bronnen van nieuwe PCB-varianten zijn. Deze PCB's zijn toevallige bijproducten van de industriële chemie, waarvan in 2019 alleen al in de VS ruim 40.000 ton zijn gemaakt. Dat is meer dan de piek van 'gewone' PCB's van 39.000 ton in 1970 wereldwijd. Toxicologen monitoren de aanwezigheid van de bekende en originele PCB's, waardoor de nieuwe PCB-varianten tot zover zijn gemist. Mogelijk vormt deze ontwikkeling een bedreiging voor de waterkwaliteit [6].

Zuivering

PCB's zijn weinig mobiel en vrij eenvoudig te verwijderen bij de zuivering [4], bijvoorbeeld door middel van actieve-koolfiltratie.

Referenties

[1] [Polychloorbifenyyl - Wikipedia](#)

[2] [polychloorbifenylen | Risico's van stoffen \(rivm.nl\)](#)

[3] [PCB's | Voedingscentrum](#)

[4] Dijk-Looijaard, A.M. van (1993): 'Herziening Normen Waterleidingbesluit', rapport SWO 92.294, KIWA Onderzoek en Advies, Nieuwegein.

- [5] Houtman, C.J., Velzeboer, I., Slootweg, T., Kroesbergen, J. (2015): 'Organische stoffen in het Drinkwaterbesluit: 2. Monitoring van 'oude' stoffen', H₂O-Online, 12 oktober 2015.
[Tweeluik organische stoffen deel 2 - Hofman-ch1.pdf \(h2owaternetwerk.nl\)](#)
- [6] Megson, D., Grace Idowu, I., Sandau, C.D. (2024): 'Is current generation of polychlorinated biphenyls exceeding peak production of the 1970s?', Science of the Total Environment, volume 924, 10 May 2024. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.171436>.
- [7] [Dioxins and PCBs | EFSA \(europa.eu\)](#)
- [8] [Risico's van prenatale blootstelling aan stoffen | Advies | Gezondheidsraad](#)
- [9] [Risk for animal and human health related to the presence of dioxins and dioxin-like PCBs in feed and food | EFSA \(europa.eu\)](#)

● Poly- en perfluoralkylstoffen (PFAS)

Grondslag norm: signalering

Drinkwaterbesluit 2011 ('Overige antropogene stoffen'): maximum waarde 1 µg/l

WHO: richtwaarde 4,0 µg/l PFOA en 0,4 µg/l PFOS (inmiddels ligt er een voorstel om deze waarde te verlagen naar 0,1 µg/l voor PFOS en PFOA, en 0,5 µg/l voor de hele groep van PFAS [31])

Europese Drinkwaterrichtlijn 2020:

- 'PFAS totaal' parameterwaarde 0,5 µg/l ('PFAS totaal' is het totaal van alle per- en polyfluoralkylstoffen. Deze parameterwaarde is slechts van toepassing zodra overeenkomstig artikel 13, lid 7, technische richtsnoeren voor de monitoring van deze parameter zijn ontwikkeld. De lidstaten kunnen dan besluiten om één of beide van de parameters: 'PFAS totaal' of 'som van PFAS' te gebruiken.) en,
- 'som van PFAS' parameterwaarde 0,1 µg/l ('Som van PFAS' is de som van per- en polyfluoralkylstoffen die risicovol worden geacht in verband met voor menselijke consumptie bestemd water, en die zijn opgenomen in bijlage III, deel B, punt 3. Dit is een subcategorie van stoffen onder 'PFAS totaal' die een perfluoralkylgedeelte bevatten met drie of meer koolstofatomen (d.w.z. $-C_nF_{2n}-$, $n \geq 3$), of een perfluoralkylethergedeelte met twee of meer koolstofatomen (d.w.z. $-C_nF_{2n}OC_mF_{2m}-$, n en $m \geq 1$).)

RIVM: richtwaarde voor drinkwater PFOA = 87,5 ng/l en GenX = 150 ng/l

RIVM: advies drinkwaterrichtwaarde PFAS = 4,4 ng/L PFOA equivalenten (voor vier PFAS: PFOA, PFOS, PFNA en PFHxS)

Introductie

De stofgroep PFAS staat volop in de belangstelling vanwege het wijdverbreide voorkomen, de slechte afbreekbaarheid, de gezondheidsrisico's en de verregaande consequenties van de (emissiebeperkende) maatregelen. De afkorting PFAS staat voor 'poly- en perfluoralkylstoffen'. Dit zijn door de mens gemaakte stoffen die van nature niet in het milieu voorkomen [1]. PFAS hebben als overeenkomst dat ze compleet (per-) of gedeeltelijk (poly-) gefluoreerde koolstofketens bevatten van normaliter 2 tot 16 koolstofatomen [6]. De stoffen hebben speciale oppervlakte-actieve eigenschappen, waardoor ze zowel water- als vetafstotend zijn en bovendien goed bestand zijn tegen bijvoorbeeld hitte of zuren [1, 6]. De stoffen zijn bovendien zeer moeilijk afbreekbaar en staan daarom bekend als 'forever chemicals'. Deze industrieel aantrekkelijke eigenschappen leidden ertoe dat met name perfluorooctaansulfonzuur (PFOS) en perfluorooctaanzuur (PFOA) in grote hoeveelheden zijn geproduceerd. Deze en andere PFAS worden door hun persistentie over de gehele wereld in het milieu aangetroffen [20].

In Nederland was deze stofgroep tot ongeveer 2010 relatief onbekend [6], maar onderzoek van onder andere de Universiteit van Amsterdam in samenwerking met KWR Water Research Institute heeft de aanwezigheid en risico's van deze stoffen aangetoond [13, 14]. Zo kwam steeds meer informatie beschikbaar, bijvoorbeeld via studies van de Wageningen Universiteit (WUR, RIKILT) naar de emissies in de regio Dordrecht [15]. Vanaf 2015 kwamen PFAS meer en meer in het nieuws toen bleek dat de Teflon-productie door DuPont (inmiddels Chemours) in Dordrecht leidde tot milieuvervuiling met PFOA. Deze aandacht in de media leidde tot vragen in de Tweede Kamer, een bloedonderzoek bij werknemers en omwonenden van de fabriek en aangiftes en schadeclaims tegen DuPont. Er werden soms zeer hoge PFOA-waarden in het bloed van werknemers en omwonenden van de fabriek en in de omgeving aangetoond. In 2019 kwamen PFAS opnieuw volop in het landelijke nieuws door het strikt toepassen van de eis dat grond pas mag worden verplaatst als bekend is dat het gehalte aan verontreinigingen daarin niet hoger is dan van de ontvangende bodem. Omdat er weinig bekend was over de achtergrondwaarden van

concentraties PFAS kon grond uitsluitend worden hergebruikt als het gehalte PFAS lager was dan bepalingsgrens van 0,1 µg/kg. Hierdoor kwamen veel bouw- en baggerprojecten stil te liggen, wat tot veel onbegrip en protesten leidde. Door het instellen van het Tijdelijk Handelingskader voor hergebruik van PFAS-houdende grond door het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat in het najaar van 2019 kwam aan deze problematiek een einde.

PFAS vormen een wereldwijd probleem door de jarenlange lozingen en uitstoot naar de lucht door met name fabrieken in de VS. In november 2019 verscheen de (Hollywood)film *Dark Waters* over de gezondheidsgevolgen van jarenlange lozingen en de rol van de chemische industrie (in dit specifieke geval DuPont), die (alhoewel bekend met de schadelijke gevolgen) daar niets aan verandert. In de VS zijn honderden miljoenen dollars aan schadevergoeding uitgekeerd aan slachtoffers van de lozingen.

Voor de drinkwatersector zijn de onderstaande vier stoffen vooral relevant, omdat die in de jaren 2017 – 2020 door de European Food Safety Authority (EFSA) zijn beoordeeld [11]. Voor deze vier zijn een maximaal toelaatbare waarde voor de gezamenlijke orale blootstelling (uitgedrukt in equivalenten PFOA) voorgesteld:

- PFNA (perfluornonaanzuur), CAS-nummer 375-95-1;
- PFOS, CAS-nummer 1763-23-1;
- PFOA, CAS-nummer 335-67-1;
- PFHxS (perfluorhexaansulfonaat).

Voorbeelden van andere stoffen uit de PFAS stofgroep:

- HFPO-DA ('GenX'), CAS-nummer 13252-13-6 of 62037-80-3;
- PFUdA, CAS-nummer 2058-94-8;
- PFBA, CAS-nummer 375-22-4.

Daarnaast zijn er 20 soorten PFAS die als groep zijn beschouwd en worden genoemd in de herziene Europese Drinkwaterrichtlijn [7]. De stofgroep PFAS omvat echter meerdere duizenden stoffen, met schattingen die uiteenlopen omdat er verschillende definities van PFAS worden gehanteerd. Zo identificeert de Organisatie voor Economische Samenwerking en Ontwikkeling (OECD) zo'n 4.700 PFAS [21], het expertisecentrum PFAS meer dan 6.000 individuele stoffen [6], en heeft de United States Environmental Protection Agency (US EPA) inmiddels een lijst van meer dan 12.000 PFAS samengesteld [22].

Herkomst

PFAS zijn kunstmatige stoffen die sinds de jaren '40 en '50 van de vorige eeuw worden geproduceerd. De stoffen worden toegepast in verschillende industriële toepassingen en processen. De meest bekende producten waarin PFAS zijn verwerkt, zijn onder andere smeermiddelen, ski-wax, voedselverpakkingsmaterialen, blusschuim, antiaanbaklagen in pannen, kleding en impregneermiddel in textiel en cosmetica [1].

Hoewel er veel zorgen bestaan over PFAS in het milieu is er over slechts enkele PFAS meer bekend, bijvoorbeeld PFOA, PFOS en GenX. De stoffen komen in het milieu doordat fabrieken ze uitstoten bij productieprocessen waar deze stoffen worden gebruikt. Hierbij kunnen PFAS bijvoorbeeld worden uitgestoten naar de lucht en zich van daaruit verspreiden naar de bodem. PFAS kunnen ook via afvalwater in het oppervlaktewater terecht komen en kunnen zich bijvoorbeeld via rivieren verder verspreiden [1]. Daarnaast komen PFAS in het milieu door het gebruik van producten waarin PFAS is gebruikt en wanneer die producten in de afvalstroom terechtkomen.

De lokale emissies bij DuPont/Chemours in Dordrecht zijn reeds lang bekend, omdat het bedrijf onder toezicht staat van de vergunningverlener (Omgevingsdienst Zuid-Holland-Zuid). Omdat kennis en kunde ontbraken om de lozingen en uitstoot goed te kunnen beoordelen, zijn het hele

dossier en de vergunningverlening overgedragen aan DCMR. In 2012 is DuPont noodgedwongen overgestapt van PFOA naar GenX-technologie (HFPO-DA), omdat het gebruik van PFOA en PFOS werd verboden. Deze GenX-technologie beoogde een vervanging van PFOA te leveren met verondersteld gunstigere milieueigenschappen. Deze techniek wordt ingezet voor de productie van Teflon (handelsnaam, de chemische naam is PTFE, PolyTetraFluorEtheen), dat bijvoorbeeld wordt toegepast als antiaanbaklaag in pannen. De vergunde lozingen van de fabriek leidden tot veel protesten en onrust in de omgeving van de fabriek (Dordrecht, Sliedrecht), wat ertoe heeft geleid dat de vergunningen steeds strenger zijn geworden. De rechtszaken die drinkwaterbedrijf Oasen over de lozingen heeft gevoerd, hebben daaraan ook bijgedragen.

Uit een korte, inventariserende studie in 2020 door Rijkswaterstaat blijkt dat diverse PFAS zijn aangetroffen in het effluent van de papierindustrie (RWZI's en AWZI's), op stortplaatsen voor bagger en grond, en bij verwerkers van bouw-, sloop- en bedrijfsafval. Uit onderzoek van het Expertisecentrum PFAS blijkt dat verscheidene PFAS in Nederlands grond- en oppervlaktewater voorkomen [5]. Uit onderzoek van het RIVM blijkt dat PFAS overal in Nederland in het grondwater kunnen zitten. Het gaat meestal om lage concentraties. De hoogste concentraties PFAS zijn gevonden in het grondwater dat net onder het bodemoppervlak zit, direct onder het maaiveld. Maar ook in dieper en ouder grondwater zijn PFAS aangetroffen. Het gaat dan vooral om PFAS die niet snel aan deeltjes in de bodem adsorberen, waardoor die zich gemakkelijk via het grondwater kunnen verspreiden [25].

PFAS-precursors kunnen zorgen voor PFAS in het milieu als gevolg van de biologische en chemische afbraak. De niet-gefluoreerde delen van de precursors kunnen worden afgebroken, waarna de geperfluoreerde PFSA's en PFCA's overblijven. Deze PFSA's en PFCA's zijn niet verder biologisch afbreekbaar, zodat deze PFAS zoals PFOA en PFOS het uiteindelijke afbraakproduct zijn (ook wel 'dead-end-daughters' genoemd) [6].

De uiteindelijke verspreiding van PFAS in het milieu is mogelijk door een aantal processen. PFAS kunnen uit de bodem naar het grondwater spoelen en zich vervolgens verspreiden [6]. Verspreiding via de lucht kan ook, waarbij de PFAS vervolgens neerslaan op het maaiveld en in het oppervlaktewater terecht komen [6]. Ze kunnen ook worden verspreid door menselijk handelen: het verplaatsen van (verontreinigd) slib of grond, of door baggerwerkzaamheden [6]. Onlangs is uit onderzoek gebleken dat PFAS ook via aerosolen (kleine waterdruppels) over lange afstanden kunnen worden verspreid [23]. In een recent onderzoek in opdracht van de Provincie Noord-Holland werden PFAS in grondwater langs de kuststrook aangetroffen, wat suggereert dat de 'sea-spray aerosols' inderdaad een rol spelen in het transport van PFAS van de zee naar land en grondwater [24]. Omdat de winning van water ten behoeve van de bereiding van drinkwater van kustregio's dikwijls in de duinen plaatsvindt, is het relevant om de rol van dit transport nader te onderzoeken. Vervolgonderzoek door KWR Water Research Institute zal uitwijzen wat de risico's van 'sea-spray aerosols' voor de waterwinning in de duinen zijn.

PFAS zijn inmiddels wereldwijd verspreid in het milieu [4]. Dit komt door een aantal eigenschappen. De stoffen lossen over het algemeen goed op in water en breken nauwelijks af, en sommigen hechten niet of nauwelijks aan bodemmateriaal en sediment. Daardoor gaat de verspreiding snel en ver, en blijven de stoffen langdurig aanwezig [6]. De precieze eigenschappen verschillen per specifieke PFAS. De PFAS met korte koolstofketens kunnen zich over het algemeen bijvoorbeeld sneller verspreiden in water [1]. Van een aantal specifieke stoffen is bekend dat ze ongewenste eigenschappen hebben, waardoor ze persistent, mobiel en toxisch zijn. Dit zijn bijvoorbeeld PFOS, PFOA en GenX-stoffen. Kleinere PFAS zoals PFBA, PFHxA en PFBS adsorberen niet of nauwelijks aan bodemmateriaal [6]. De PFAS met langere koolstofketen (PFHxS en groter, en PFOA en groter) bio-accumuleren, waardoor ze zich in het lichaam kunnen ophopen. PFAS met korte koolstofketens (minder dan vijf koolstofatomen) doen dat niet of nauwelijks [6].

Blootstellingsroutes

PFAS kunnen een risico vormen voor de gezondheid van mensen en het milieu. Naast de schadelijkheid van de stof is de hoeveelheid die iemand inademt of inslikt en hoe vaak of hoe lang dit contact duurt, bepalend voor het risico op schadelijke gezondheidseffecten. Hetzelfde geldt voor het milieu, waar de

hoeveelheid en verblijftijd van de stof in het milieu het risico bepaalt. Mensen kunnen op verschillende manieren in contact komen met PFAS, bijvoorbeeld via voedsel, drinkwater (in geringe mate), door het inademen van lucht. Ook kunnen mensen kleine hoeveelheden PFAS binnenkrijgen door het gebruik van producten zoals ski-wax, smeermiddelen en waterafstotend impregneermiddel waar PFAS los in zitten [26].

Blootstelling van de bevolking aan PFAS via drinkwater is vooral aan de orde als dat wordt bereid uit oppervlaktewater of oevergrondwater. Verder is er de inname via voedsel door de opname van PFAS in gewassen en dierlijke producten [2]. Uit recent onderzoek van het RIVM blijkt dat mensen in Nederland te veel PFAS binnenkrijgen via voedsel en drinkwater. Hierdoor kunnen er nadelige effecten op de gezondheid ontstaan. Het RIVM adviseert de overheid daarom ervoor te zorgen dat mensen minder in contact komen met PFAS. Mensen kunnen zelf weinig doen om PFAS in voedsel en drinkwater te vermijden. Drinkwater en gevarieerde voeding zijn belangrijk om gezond te blijven, zelfs al krijg je er kleine hoeveelheden PFAS mee binnen. Het RIVM adviseert om geen groenten te eten uit moestuinen binnen een straal van 1 km van de fabriek Dupont/Chemours in Dordrecht en uit volkstuintencomplex Sluisdijk in Helmond [27].

Gezondheidskundige betekenis

PFAS in het algemeen worden in het lichaam niet omgezet en binden zich in tegenstelling tot andere verontreinigingen niet aan vetten, maar aan eiwitten. De uitscheiding van PFAS (voornamelijk PFOS, PFOA en PFHxS) uit het lichaam vindt langzaam plaats en kan jaren duren [6]. De gegevens over gezondheidseffecten van PFAS worden gedomineerd door PFOS en PFOA vanwege het wijdverbreide voorkomen van deze stoffen in het milieu. PFOA is reprotoxisch (dat wil zeggen: heeft een effect op de voortplanting) en is mogelijk kankerverwekkend. Mogelijk is er een verhoogd risico op met name nierkanker en testeskanker bij hogere blootstellingsniveaus [9, 10]. Daarnaast zijn effecten op de lever bekend [9, 10]. Van de overige PFAS is veel minder informatie beschikbaar [6]. Van verschillende PFAS is aangetoond dat die toxisch zijn. Gerapporteerde toxische effecten zijn onder andere verhoogd cholesterol, veranderingen in leverenzymen, afname in geboortegewicht, verminderde vaccinatie-respons bij kinderen en een verhoogd risico op hoge bloeddruk bij zwangere vrouwen [28]. Van enkele stoffen is bekend dat die accumuleren in het menselijk lichaam, in dieren en in planten ('bio-accumulatie') [1]. De stoffen kunnen daardoor vooral problemen opleveren voor dieren in de top van de voedselketen, zoals vogels en zoogdieren [1].

Het is aannemelijk dat bij blootstelling aan mengsels van PFAS de verschillende stoffen gezamenlijk toxiciteit veroorzaken via eenzelfde werkingsmechanisme. Om hiermee om te gaan, heeft het RIVM een methode ontwikkeld op basis van zogenaamde relatieve potentie factoren (RPF's). Deze RPF's zijn afgeleid op basis van levertoxiciteit en drukken de toxiciteit van verschillende PFAS uit ten opzichte van het meer bekende PFOA, waarvoor een gezondheidkundige grenswaarde beschikbaar is [29, 30].

Normen en richtlijnen verklaard

In de vigerende (inter)nationale wet- en regelgeving is (de normering van) PFAS vooralsnog niet opgenomen. Wel liggen er diverse studies en voorstellen:

- In de herziene Europese Drinkwaterrichtlijn [7]: 0,1 µg/l individueel en 0,5 µg/l totaal (geselecteerde groep PFAS) [19];
- Richtwaarde WHO: 4,0 µg/l voor PFOA en 0,4 µg/l voor PFOS met gezondheid als grondslag. Het richtwaardevoorstel in 2017 van de WHO is nog niet vastgesteld. Voorstel voor combinatie: (PFOS-concentratie / 0,4 µg/l + PFOA-concentratie / 4,0 µg/l) ≤ 1,0;
- Indicatieve richtwaarde RIVM: 0,0875 µg/l PFOA en 0,15 µg/l GenX met gezondheid als grondslag;
- EFSA-beoordeling van vier PFAS in voedsel en drinkwater [11] met een veilige waarde van 4,4 ng/l als richtwaarde.
- Het RIVM adviseert een drinkwaterrichtwaarde voor PFAS van 4,4 ng/l PFOA-equivalenten, die kan worden gebruikt voor alle PFAS waarvoor een RPF beschikbaar is.

Een aantal PFAS is opgenomen op de lijst met Zeer Zorgwekkende Stoffen (ZZS): PFBS, HFPO-DA ('GenX'), PFHxS, PFOA, PFOS, PFOSA, N-MeFOSAA, EtFOSAA, PFNA, PFDA, PFUnA, PFDaA, PFTDA, PFTeDA. de stof op de lijst met potentiële ZZS (pZZS) is: PFHpA.

Nederland werkt samen met Denemarken, Duitsland, Noorwegen en Zweden aan een voorstel voor een Europees verbod op PFAS [16]. Ondertussen werkt de Europese Commissie aan een verbod op PFAS in blusschuim. Ook komt er binnenkort een verbod op PFAS in textiel. Omdat de PFAS in zoveel producten zijn verwerkt, hebben wetenschappers het begrip 'essential use', of essentiële toepassing, geponeerd als een mogelijke manier om het beleid te versnellen en richting te geven [17]. De twee elementen van een essentiële toepassing zijn dat een toepassing 'noodzakelijk is voor de gezondheid of veiligheid of van essentieel belang is voor het functioneren van de maatschappij' en dat 'er geen technisch en economisch haalbare alternatieven beschikbaar zijn'.

Aanwezigheid in drinkwater(bronnen) en monitoring

In het drinkwater worden niet alle PFAS structureel gemeten. In oktober 2020 is een inventarisatie uitgevoerd naar metingen van Nederlandse drinkwaterbedrijven, ingegeven door de Europese discussies over de 4 PFAS en een totaal van 20 soorten PFAS (20 PFAS) [18]. De belangrijkste conclusies zijn:

- Metingen vinden plaats voor locaties langs de Rijn en Maas, in grondwaterwinningen en in drinkwater direct na de zuivering.
- Niet alle 20 PFAS uit de herziene Europese Drinkwaterrichtlijn [7] worden gemeten.
- Van de PFAS op de ZZS-lijst wordt over zes PFAS door drinkwaterbedrijven gerapporteerd. Het gaat daarbij om PFNA, PFOS, PFOA, PFDA, GenX en PFUdA.
- 6:2 FTS (6:2 fluortelomersulfonzuur) wordt wel veel gemeten, maar niet aangetoond.
- Enkele drinkwaterbedrijven met grondwater als grondstof (Brabant Water, Waterbedrijf Groningen, Vitens en WMD Drinkwater) hebben 1 – 2 keer verkennend gemeten en vastgesteld dat PFAS vooralsnog geen probleem/risico zijn.
- De Maas/Rijn-afhankelijke drinkwaterbedrijven meten regelmatig een aantal PFAS (maar niet alle 20), waaruit blijkt dat de waarde van 4,4 ng/l voor de 4 PFAS uit de EFSA-opinie wordt overschreden (in het drinkwater bij (indirect) rivierafhankelijke drinkwaterbedrijven en een incidentele grondwaterwinning).

Vanaf 1 januari 2022 meten alle drinkwaterbedrijven alle 20 parameters van de Europese Drinkwaterrichtlijn op een niveau 1 ng/l of lager.

Zuivering

Onderzoek naar technieken om PFAS uit water te verwijderen, is al een tijdlang gaande en kent een versnelling in de afgelopen jaren [6, 13, 14]. Actieve-koolfiltratie en dosering van poederkool zijn momenteel de meest gebruikte methode voor behandeling van PFAS-houdend grondwater, drinkwater en afvalwater. Deze zuiveringsstap wordt vaak ingezet voor de verwijdering van hydrofobe verontreinigende stoffen uit water en is ook effectief voor PFOS en PFOA, alhoewel de adsorptiecapaciteit van actieve kool voor deze stoffen beperkt is en de adsorptie daarvan veel hinder ondervindt van concurrentie door materiaal dat afkomstig is van (dode) micro-organismen, planten en dieren (natuurlijk organisch materiaal, NOM). Actieve kool is minder effectief voor PFAS met korte koolstofketens, zoals HPFO-DA, PFBA (perfluorbutaan zuur) en PFHxA (perfluorhexaan zuur) [6, 13]. Door de grootte van de PFAS-moleculen zijn de zuiveringstechnieken nanofiltratie en omgekeerde osmose geschikt. Het voordeel van die technieken is dat die effectief zijn voor de meeste PFAS [6]. Het nadeel ervan is de vorming van een reststroom (concentraat) met een hoge concentratie van de PFAS, die verder moet worden verwerkt. 'Foam fractionation' is de afgelopen jaren onderzocht als kosten- en energie-efficiënte techniek om PFAS uit water te verwijderen. Ook deze techniek is effectief in de verwijdering van PFAS met lange koolstofketens (> 90%), maar weinig effectief in de verwijdering van PFAS met korte ketens (< 30%) [19]. Biologische afbraak is geen geschikte methode om PFAS uit het milieu te verwijderen [6]. Vooral de perfluorverbindingen zijn resistent tegen hydrolyse, fotolyse, biologische afbraak en metabolisme [6]. Standaard oxidatie- en fotolyse-technieken zijn niet effectief voor PFAS [6], maar

geavanceerde oxidatie zou mogelijk kunnen werken [8]. Deze experimentele techniek wordt nog niet bij alle drinkwaterbedrijven toegepast.

Referenties

[1] RIVM: webpagina 'PFAS'.

<https://www.rivm.nl/pfas>

[2] RIVM: webpagina 'Vragen en antwoorden risicogrenzen PFOA, PFOS en GenX voor grond en bagger'.

<https://www.rivm.nl/pfas/bodem/vragen-en-antwoorden>

[3] Expertisecentrum PFAS (2019): 'Vijf oplossingen voor het huidige PFAS-probleem'.

https://www.expertisecentrumpfas.nl/images/Vijf_oplossingen_van_het_Expertisecentrum_PFAS.pdf

[4] Rijksoverheid (2019): 'Tijdelijk handelingskader voor hergebruik van PFAS-houdende grond en baggerspecie'.

<https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2019/12/01/bijlage-1-tijdelijk-handelingskader-voor-hergebruik-van-pfas-houdende-grond-en-baggerspecie>

[5] Expertisecentrum PFAS (2018): 'Aanwezigheid van PFAS in Nederland; Deelrapport A – PFAS in grondwater en oppervlaktewater'.

https://www.expertisecentrumpfas.nl/images/Handelingskader/DDT219-1-18-008.233-rapd-Voorkomen_PFAS_in_Nederland_deelrapport_A_definitief.pdf

[6] Expertisecentrum PFAS (2018): 'Poly- en PerFluor Alkyl Stoffen (PFAS); Kennisdocument over stofeigenschappen, gebruik, toxicologie, onderzoek en sanering van PFAS in grond en grondwater'.

https://www.expertisecentrumpfas.nl/images/Handelingskader/DDT219-1-18-009.764-rapd-Kennisdocument_PFAS_definitief_02.pdf

[7] Europees Parlement en Raad van de Europese Unie (2020): 'Richtlijn 2020/2184 van het Europees Parlement en de Raad van 16 december 2020 betreffende de kwaliteit van voor menselijke consumptie bestemd water (herschikking)', Publicatieblad van de Europese Unie, L 435 (Nederlandse editie), 23 december 2020, Brussel ([Europese Drinkwaterrichtlijn](#)).

[8] Zhang, C.J., Qu, Y., Zhao, X., and Zhou, Q. (2015): 'Photoinduced Reductive Decomposition of Perfluorooctanoic Acid in Water: Effect of Temperature and Ionic Strength', CLEAN Soil Air Water, volume 43, issue 2, pages 223 – 228.

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/clen.201300869>

[9] RIVM (2016): webpagina 'Vragen en antwoorden PFOA algemeen'.

<https://www.rivm.nl/pfoa/vragen-en-antwoorden-pfoa-algemeen>

[10] RIVM (2016): webpagina 'PFOA'.

<https://www.rivm.nl/pfoa>

[11] EFSA (2020): 'Risk to human health related to the presence of perfluoroalkyl substances in food', EFSA Journal, Panel on Contaminants in the Food Chain.

https://www.efsa.europa.eu/sites/default/files/consultation/consultation/PFAS_Draft_Opinion_for_public_consultation_Part_I.pdf

[12] Jans, A.C.H., en Berbee, R.P.M. (2020): 'Bronnen van PFAS voor het Nederlandse oppervlaktewater', Rijkswaterstaat, Water, Verkeer en Leefomgeving (WVL), Veiligheid en Water, Waterkwaliteit en Natuurbeheer.

https://aandeslagmetdeomgevingswet.nl/publish/pages/181740/bronnen_van_pfas_voor_het_nederlandse_oppevlaktewater_definitief_rapport.pdf

[13] Eschauzier, C., Beerendonk, E., Scholte-Veenendaal, P., Voogt, P. de (2012): 'Impact of Treatment Processes on the Removal of Perfluoroalkyl Acids from the Drinking Water Production

Chain', Environmental Science & Technology, volume 46, issue 3, pages 1708 – 1715.

<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/es201662b>

[14] Eschauzier, C., Hoppe, M., Schlummer, M., Voogt, P. de (2013): 'Presence and sources of anthropogenic perfluoroalkyl acids in high-consumption tap-water based beverages', Chemosphere, volume 90, issue 1, pages 36 – 41.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653512009435>

[15] Gebbink, W.A., Asseldonk, L. van, Leeuwen, S.P.J. van (2017): 'Presence of Emerging Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFASs) in River and Drinking Water near a Fluorochemical Production Plant in the Netherlands', Environmental Science & Technology, volume 51, issue 19, pages 11057 – 11065.

<https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.est.7b02488>

[16] RIVM: webpagina 'Verbod gebruik PFAS'. <https://www.rivm.nl/pfas/verbod-gebruik-pfas>

[17] Cousins, I.T., *et al.* (2019): 'The concept of essential use for determining when uses of PFASs can be phased out', Environmental Science Process Impacts, volume 21, issue 11, pages 1803 – 1815. <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2019/EM/C9EM00163H>

[18] Vewin (2020): 'Inventarisatie Som PFAS n.a.v. EFSA opinie en DWD, inclusief handelingsopties', memo aan het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (niet openbaar).

[19] Smith, S. J., Wiberg, K., McCleaf, P., & Ahrens, L. (2022). Pilot-Scale Continuous Foam Fractionation for the Removal of Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) from Landfill Leachate. ACS ES&T Water.

[20] Kurwadkar, S., Dane, J., Kanel, S. R., Nadagouda, M. N., Cawdrey, R. W., Ambade, B., ... & Wilkin, R. (2021). Per- and polyfluoroalkyl substances in water and wastewater: A critical review of their global occurrence and distribution. Science of The Total Environment, 151003.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151003>

[21] [OECD Portal on Per and Poly Fluorinated Chemicals - OECD Portal on Per and Poly Fluorinated Chemicals](#)

[22] [CompTox Chemicals Dashboard \(epa.gov\)](#)

[23] Johansson, J. H., Salter, M. E., Navarro, J. A., Leck, C., Nilsson, E. D., & Cousins, I. T. (2019). Global transport of perfluoroalkyl acids via sea spray aerosol. Environmental Science: Processes & Impacts, 21(4), 635-649. <https://doi.org/10.1039/C8EM00525G>

[24] [Noord-Hollands onderzoek PFAS bevestigt landelijke bevindingen - Provincie Noord-Holland](#)

[25] Wintersen, A., Claessens, J., Wit, M., van Helvoort, K., Wolters, M., Stoffelsen, B., van Wijnen, H., van Breemen, P. (2021). Landsdekkend beeld van PFAS in Nederlands grondwater.

<https://doi.org/10.21945/RIVM-2021-0205>

[26] RIVM: webpagina 'Risico's PFAS voor gezondheid en milieu'. <https://www.rivm.nl/pfas/riscos-pfas-voor-gezondheid-en-milieu>

[27] RIVM: webpagina 'Teveel blootstelling aan PFAS in Nederland'. <https://www.rivm.nl/pfas/te-veel-blootstelling-aan-pfas-in-nederland>

[28] ATSDR: webpagina 'What are the health effects of PFAS?'. <https://www.atsdr.cdc.gov/pfas/health-effects/index.html>

[29] Zeilmaker, M. J., Fragki, S., Verbruggen, E. M. J., Bokkers, B. G. H., & Lijzen, J. P. A. (2018). Mixture exposure to PFAS: A relative potency factor approach.



[30] Bil, W., Zeilmaker, M., Fragki, S., Lijzen, J., Verbruggen, E., & Bokkers, B. (2021). Risk assessment of per-and polyfluoroalkyl substance mixtures: A relative potency factor approach. *Environmental toxicology and chemistry*, 40(3), 859-870.

[31] https://cdn.who.int/media/docs/default-source/wash-documents/wash-chemicals/pfos-pfoa-gdwq-bd-working-draft-for-public-review-29.9.22.pdf?sfvrsn=eac28c23_3

● Pyrazool

Grondslag norm: indicator, voorzorgsprincipe, gezondheidkundig

Drinkwaterbesluit 2011: maximum waarde 1 µg/l ('Overige antropogene stoffen')

Drinkwaterregeling 2019: maximum waarde 3 µg/l (oppervlaktewater bestemd voor de bereiding van drinkwater)

WHO: geen vermelding

EG-Drinkwaterrichtlijn 1998: geen vermelding

Introductie

In 2015 kwam de toen voor de drinkwaterbedrijven nog onbekende stof pyrazool in het landelijke nieuws, omdat deze in hoge concentraties was aangetroffen in het water van de Maas [1]. De oorzaak daarvan bleek een niet goed functionerende AWZI bij een chemiecomplex langs de rivier. Na onderhoud van de fabriek voor de productie van acrylonitril met een periode zonder aanvoer van pyrazool functioneerde de biologische afvalwaterzuivering niet meer, omdat de bacteriën de afbraak van deze stof waren 'ontwend' [1]. De lozingen van hoge concentraties pyrazool vonden gedurende een lange periode plaats, waardoor de drinkwaterbedrijven die Maas-water gebruiken voor de bereiding van drinkwater hier zeer serieuze problemen mee ondervonden.

Op de site van het RIVM – Risico van stoffen is informatie over de stof samengevat: [link](#).

Herkomst

Pyrazool ($C_3H_4N_2$) is een synthetische stof. De stof wordt gemaakt en gebruikt in bijvoorbeeld de farmaceutische industrie, bij de productie van kleurstoffen [3] of als bestrijdingsmiddel [5].

Pyrazool is als industriële toepassing ook een afvalproduct bij de productie van acrylonitril [4], dat weer wordt gebruikt als grondstof voor de vervaardiging van bepaalde kunststof materialen. In het stroomgebied van de Maas wordt acrylonitril geproduceerd op het Chemelot-terrein bij Geleen en in dat van de Rijn wordt acrylonitril geproduceerd op het Chempark Dormagen bij Keulen. Deze twee productielocaties zijn de grootste potentiële lozers van pyrazool in de Maas en Rijn.

Blootstellingsroutes

Er is weinig bekend over blootstellingsroutes aan pyrazool.

Gezondheidkundige betekenis

Pyrazool wordt beschouwd als een niet-genotoxische stof [2]. Het is wel een stof met mogelijke effecten op de menselijke ontwikkeling en kan daardoor leiden tot geboortefwijkingen. Ook worden effecten gevonden op diverse weefsels en organen (bloed, lever, nieren, schildklier, milt, testes, prostaat) [2]. De hoeveelheden pyrazool in het Nederlandse drinkwater zijn veel lager dan de richtwaarde (zie onder), zodat de effecten op de gezondheid verwaarloosbaar zijn.

Normen en richtlijnen verklaard

In de [Drinkwaterregeling](#) is pyrazool sinds 2019 opgenomen in de tabel met 'Kwaliteitseisen voor oppervlaktewater bestemd voor de bereiding van drinkwater', met een maximale waarde van 3 µg/l (bijlage 5a). In 2017 werd deze kwaliteitseis voor het eerst opgenomen in bijlage 5 van die regeling. De eis is van toepassing op het oppervlaktewater bestemd voor de bereiding van drinkwater. Bij de wijziging van 2017 werden expliciet het voorzorgprincipe, de gezondheidkundige afleiding en de situatie van 2015 als uitgangspunten genoemd [7].

Aanwezigheid in drinkwater(bronnen) en monitoring

Toen de stof in 2015 (zie boven) eenmaal was geïdentificeerd in het water van de Maas, bleek die na enige tijd ook in de Rijn voor te komen. Omdat het water niet aan de kwaliteitseisen voor inname van oppervlaktewater bestemd voor de bereiding van drinkwater voldeed, dreigde de

levering van drinkwater door de betrokken drinkwaterbedrijven die Maas- en Rijn-water als grondstof hebben, in de knel te komen. Om dat dreigende probleem op te lossen, is een tijdelijke grenswaarde vastgesteld (15 µg/l voor twee jaar). Daarbij is rekening gehouden met gezondheidsaspecten. Later is die grenswaarde vanwege het voorzorgprincipe weer aangescherpt tot de huidige 3 µg/l ([Drinkwaterregeling](#)).

Sinds 2015 wordt pyrazool gemonitord door de drinkwaterbedrijven met oppervlaktewater als grondstof. Dat gebeurt in zowel de grondstof als in het drinkwater. In het water van de Rijn is pyrazool in 2019 de enige parameter in de groep 'Industriechemicaliën met aromatische stikstofverbindingen' die overschrijdingen van de ERM-streefwaarde heeft laten zien [6]. De maximum concentratie in het water van de Rijn bij Lobith is een stuk lager dan die van 2018 (4,4 µg/l). Dit geldt ook voor het water van de Lek bij Nieuwegein (2,8 µg/l) [6]. De concentratie vertoont een sterk dalende trend. In het water van de Maas wordt pyrazool sinds enkele jaren niet meer aangetoond.

In het jaar 2015 werd tijdens de crisis veel gemeten, waarna de meetfrequentie is verlaagd, omdat de concentraties ook afnamen. In het water van de Maas en de Rijn zijn door RIWA meetwaarden verzameld in een range van 3,5 tot 0,37 µg/l, aflopend met de jaren van 2015 tot 2018. Deze waarden zijn de gemiddelden van de mediaanwaarden per jaar van alle innamelocaties langs de Maas en de Rijn.

In drinkwater is pyrazool in de jaren 2016 tot en met 2018 gemeten in 'uitgaand water, pompstation en af pompstation' door een aantal bedrijven die oppervlaktewater innamen met de gemiddelde concentratie 0,18 µg/l in de range 0,03 – 0,91 µg/l ([REWAB](#)).

Door drinkwaterbedrijven is in grondwater in de jaren 2017 en 2018 gemeten. Hier werd pyrazool niet boven de detectiegrens aangetroffen ([REWAB](#)). In het meetnet grondwater van de provincies is pyrazool niet opgenomen.

Zuivering

[Coagulatie](#) en de dosering van natriumhypochloriet bleken weinig effect te hebben op de verwijdering van pyrazool (verwijdering < 25%). [Oxidatie](#)processen (fotolyse via middendruk UV-lampen) en biologische processen ([actieve-koolfiltratie](#), [snel-](#) of [langzame-zandfiltratie](#), [oeverfiltratie](#)) bleken het meest effectief voor die verwijdering. Biodegradatie van pyrazool verloopt beter onder aerobe dan onder anaerobe condities. Het zuiveringsrendement voor pyrazool via biodegradatie in zandfilters kan hoog zijn als de geschikte bacteriestammen aanwezig zijn [1]. Dat kan uitsluitend als een filter vrijwel constant in contact is met pyrazool [5]. Biodegradatie blijft meestal beperkt tot de afbraak van functionele groepen aan de ringstructuur. Die ringstructuur zelf blijft intact [5]. De bacteriesoort *Pseudomonas acidovorans* lijkt de ringstructuur wel te kunnen afbreken [5]. De verwijdering van pyrazool door biodegradatie is vergelijkbaar of iets hoger (26 – 65%; veel hoger) dan door adsorptie (20 – 46%) [5].

Referenties

[1] Baken, K., Kolkman, A., Diepenbeek, P. van, Ketelaars, H., Weezel, A. van (2016): 'Signalering van 'overige antropogene stoffen', en dan? De pyrazool-casus', H₂O vakartikelen, H₂O-online, 11 september 2016, Koninklijk Nederlands Waternetwerk.

https://www.h2owaternetwerk.nl/images/H2O-Online_1609-03_Pyrazool_II_-_Bakenetal.pdf

[2] Janssen, P. (2016): 'Afleiding richtwaarde voor pyrazol in drinkwater voor levenslange blootstelling', notitie, RIVM in opdracht van het Ministerie van Infrastructuur en Milieu.

https://www.rivm.nl/sites/default/files/2018-11/Bijlage_procent20bij_procent20brief_procent20minister_procent20lenM_Afleiding_procent20richtwaarde_procent20pyrazool.pdf

[3] Britannica: webpagina 'Pyrazole'.

<https://www.britannica.com/science/pyrazole>

[4] RIWA (2019): 'Jaarrapport 2018; De Rijn', RIWA-Rijn, Vereniging van Rivierwaterbedrijven, Nieuwegein.

<https://www.riwa-rijn.org/wp-content/uploads/2019/08/RIWA-2019-NL-Jaarrapport-2018-De-Rijn.pdf>

[5] Hijnen, W., Hofman-Caris, R., en Bertelkamp, C. (2016): 'Pyrazool – inventarisatie full-scale data en verkennend experimenteel onderzoek', rapport BTO 2016.203(s), KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.

<https://library.kwrwater.nl/publication/54024737/>

[6] RIWA (2020): 'Jaarrapport 2019; De Rijn', RIWA-Rijn, Vereniging van Rivierwaterbedrijven, Nieuwegein.

<https://www.riwa-rijn.org/wp-content/uploads/2020/09/RIWA-2020-NL-Jaarrapport-2019-De-Rijn.pdf>

[7] Staatscourant van het Koninkrijk der Nederlanden (2017): 'Regeling van de Minister van Infrastructuur en Milieu, van 7 juli 2017, nr. IENM/BSK-2017/160338, houdende wijziging van de Drinkwaterregeling in verband met het toevoegen van een parameter voor pyrazool aan de kwaliteitseisen voor oppervlaktewater bestemd voor de bereiding van drinkwater', nummer 38058, Besluiten van algemene strekking, 07-07-2017.

<https://zoek.officielebekendmakingen.nl/stcrt-2017-38058.html>

● Radioactiviteit

Radon:

Grondslag norm: bedrijfstechnisch

Drinkwaterbesluit 2011: maximum waarde 100 Bq/l⁹

WHO 2017: geen richtwaarde voor drinkwater, wel voor binnenlucht (100 Bq/m³)

Europese Unie Richtlijn 2013/51 Euratom: 100 Bq/l (indien >1.000 Bq/l maatregelen nemen) (1)

Tritium:

Grondslag norm: bedrijfstechnisch

Drinkwaterbesluit 2011: maximum waarde 100 Bq/l

WHO 2017: richtlijn 10.000 Bq/l

Europese Unie Richtlijn 2013/51 Euratom: 100 Bq/l (1)

Indicatieve dosis:

Grondslag norm: bedrijfstechnisch

Drinkwaterbesluit 2011: maximum waarde 0,1 mSv/j (totaal alfa < 0,1 Bq/l; totaal bèta < 1 Bq/l)

WHO 2017: richtlijn 0,1 mSv/j (totaal alfa < 0,5 Bq/l; totaal bèta < 1 Bq/l)

Europese Unie Richtlijn 2013/51 Euratom: 0,1 mSv/j (1)

Inleiding

In onze leefomgeving komen wij met verschillende vormen van radioactiviteit (energierijke (ioniserende) straling) in aanraking. In gebouwen en bij medisch onderzoek vindt doorgaans de meeste blootstelling plaats. Kernongevallen of incidenten met radioactieve stoffen kunnen leiden tot extra blootstelling. Blootstelling aan deze straling kan nadelige gevolgen hebben voor de gezondheid.

Van alle stralingsbronnen draagt straling van natuurlijke oorsprong het meest bij aan de stralingsdosis die we ieder jaar gemiddeld per persoon ontvangen in Nederland. Ongeveer 80% komt van radioactieve stoffen die al sinds het ontstaan van de aarde in de bodem aanwezig zijn. Het gaat dan onder andere om kalium-40, uranium en thorium. Deze natuurlijke radioactieve stoffen zitten niet alleen in de bodem, maar ook in daarvan gemaakte bouwmaterialen zoals baksteen en beton. Kosmische straling (afkomstig uit de ruimte en van de zon) is verantwoordelijk voor bijna 20% van de natuurlijke stralingsdosis. We worden op verschillende manieren blootgesteld aan natuurlijke straling. Het meest belangrijk zijn (2):

⁸⁹ De *becquerel* is de internationale standaard-eenheid voor radioactiviteit, wordt aangegeven met 'Bq' en beschrijft het aantal atoomkernen dat per seconde radioactief vervalst (3).

De ontvangen radioactieve dosis is een functie van factoren zoals het type straling, het ontvangende lichaamsdeel en de blootstellingswijze. 1 Bq geeft daarom niet altijd dezelfde dosis. Om de biologische effecten van straling te kunnen vergelijken is de internationale standaard-eenheid *effectieve dosis* ingevoerd. De effectieve dosis wordt uitgedrukt in sieverts. De sievert (Sv) heeft een grote eenheid, zodat meer praktisch is om met millisieverts (mSv) te werken. 1 Sv = 1000 mSv (3).

- **Externe straling**
In het buitenmilieu hebben we te maken met een natuurlijke achtergrond aan externe straling, die varieert in plaats en tijd. De belangrijkste bijdragen worden geleverd door kosmische straling (afkomstig uit de ruimte) en terrestrische straling (afkomstig uit de aarde). Ook komt uit de bodem het radioactieve edelgas radon vrij. Gammastraling van vervalproducten van radon dragen gemiddeld over het jaar voor enkele procenten bij aan de natuurlijke achtergrond (externe straling), maar ze veroorzaken daarnaast een stralingsdosis in het lichaam omdat aan stof gebonden radondochters (vervalproducten van radon) na inademing alfastraling afgeven in de longen.
- **Straling in de woning**
Ongeveer driekwart van de stralingsdosis van natuurlijke oorsprong lopen we op in onze woning, op school of op kantoor. Dat deze bijdrage zo groot is, komt omdat we binnen aan meer straling blootstaan dan buiten (we zitten gemiddeld ongeveer 90% van de tijd binnen).
- **Straling in het lichaam**
Een deel van de stralingsdosis van natuurlijke oorsprong die we jaarlijks ontvangen, komt door straling van radioactieve stoffen die in ons lichaam zitten. Het gaat dan om radioactieve stoffen die oorspronkelijk uit de bodem komen en om radioactieve stoffen die in de dampkring zijn gevormd onder invloed van kosmische straling. De totale dosis door radioactieve stoffen die via voedsel en drank in ons lichaam terecht komt, wordt geschat op 0,43 mSv/j (2)

Herkomst

Radon

De Nederlandse bodem bevat in verhouding tot andere delen van de wereld een relatief laag gehalte aan uranium en thorium. Uranium en thorium vervallen via radium en radon naar de stabiele isotoop lood. Radongas komt vrij uit de bodem. Door menging met de buitenlucht (die over het algemeen vrijwel geen radon bevat) vindt een grote verdunning plaats, zodat de concentratie vrij laag blijft. Als een goed geïsoleerde woning onvoldoende wordt geventileerd, kan de radonconcentratie binnenshuis echter sterk toenemen (vooral ophoping in kelders). Radon kan ook via bouwmaterialen de woning binnendringen via bijvoorbeeld poriën en scheuren in muren (3).

De belangrijkste bron van door mensen gemaakte radionucliden in het milieu is het gebruik van straling voor medische doeleinden (diagnose en behandeling). Atoomproeven, het testen van kernwapens, lozingen door de industrie en medische instellingen, en een kernramp als Tsjernobyl hebben de concentraties radionucliden in de wereld verhoogd (3).

Tritium

Tritium is de radioactieve isotoop van waterstof en komt van nature slechts in zeer lage concentraties voor. Als tritium in water wordt aangetroffen, is dit het gevolg van lozingen van kerncentrales waarin bij de splitsingsreacties tritium wordt gevormd of het is het gevolg van atoomproeven (3). De laag-energetische bètastralen van tritium dringen niet door de menselijke huid heen. Het is uitsluitend gevaarlijk als het in grote hoeveelheden wordt opgenomen.

Indicatieve dosis

De Drinkwaterregeling stelt dat ter bewaking van de kwaliteit van de bron met betrekking tot een verhoogde radioactiviteit als gevolg van incidenten naast radon en tritium de zogenaamde indicatieve dosis (ID) dient te worden bepaald. Voor het vaststellen van de parameter indicatieve dosis worden de parameters totaal alfa en totaal bèta gemeten in de grondstof (oppervlaktewater en grondwater) voor drinkwater. Indien de op basis van totaal alfa en totaal bèta berekende ID boven de maximum waarde is, zal in samenwerking met het RIVM en na beoordeling door de Inspectie Leefomgeving en Transport (ILT) in monitoringsprogramma's worden vastgelegd welke radionucliden moeten worden gemeten, waarbij alle relevante gegevens inzake mogelijke bronnen van radioactiviteit in aanmerking worden genomen.

Blootstellingsroutes

Radon als zodanig (gas) en vervalproducten daarvan gehecht aan fijne stofdeeltjes kunnen binnenshuis worden ingeademd en in de longen terechtkomen. Radon komt in hele lage niveaus voor in drinkwater, en verdamt daar voor het grootste deel direct uit na het opendraaien van de kraan, want radon is (net als helium en neon) een zeer vluchtig gas (3).

Behalve via de ademhaling kunnen radioactieve stoffen ook via het eten en drinken in het lichaam terecht komen. Wereldwijd ontvangt de mens gemiddeld een dosis radioactiviteit van 2,4 mSv per jaar. Er zijn echter grote verschillen tussen regio's waar te nemen. De mate van achtergrondblootstelling aan radioactiviteit hangt af van een groot aantal factoren zoals de ligging boven de zeespiegel, het aantal en type radioactieve stoffen in de bodem en de hoeveelheid die in het lichaam wordt opgenomen via lucht, voedsel en water (3). De bijdrage van drinkwater aan de totale blootstelling in Nederland (via buitenlucht, binnenlucht, voeding en drinkwater) is zeer gering.

Gezondheidskundige betekenis

Radon is een kankerverwekkende stof, die bij langdurig inademen longkanker veroorzaakt. Als radon via voeding en drinkwater wordt ingenomen, leidt dat tot bestraling van de maagwand. Wetenschappelijke studies laten geen eenduidig verband zien tussen de inname van drinkwater met radon en een toegenomen risico op maagkanker (3).

Elke blootstelling aan radioactieve straling betekent een bepaald gezondheidsrisico. Voor langdurige blootstelling (zoals het geval zou kunnen zijn bij de inname van drinkwater met een bepaalde hoeveelheid radioactiviteit) is bewezen dat er een verhoogd kankerrisico is als de indicatieve dosis hoger is dan 100 mSv per jaar. Beneden dit niveau hebben epidemiologische studies geen verhoogd risico aangetoond. Het wordt verondersteld dat er een lineaire relatie bestaat tussen blootstelling en risico zonder een drempelwaarde waaronder er geen risico zou zijn. De indicatieve dosis van 0,1 mSv per jaar betekent dus een heel laag risiconiveau, waarbij geen aantoonbare negatieve gezondheidseffecten zullen optreden (3).

Normen en richtlijnen verklaard

De WHO kent 5% van de natuurlijke stralingsdosis toe aan drinkwater, wat neerkomt op een indicatieve dosis van 0,1 mSv per jaar. Dit komt overeen met een gezondheidsrisico in van 5,5 sterfgevallen per 1.000.000 mensen bij levenslange blootstelling. Deze richtwaarde voor de indicatieve dosis wordt niet overschreden bij monitoringsniveau's van 0,5 Bq/l voor totaal alfa- en 1 Bq/l voor totaal bèta-radioactiviteit (3). In Nederland wordt uitgegaan van de iets lagere waarden, voor totaal alfa-radioactiviteit: 0,1 Bq/l en totaal bèta-radioactiviteit: 1 Bq/l (5).

De WHO-richtlijn voor tritium is gebaseerd op de maximale concentratie die een jaar lang kan worden geconsumeerd om de indicatieve dosis van 0,1 mSv per jaar niet te overschrijden (3). De Nederlandse norm voor tritium heeft een bedrijfskundige betekenis. Bij het overschrijden van de maximum waarde wordt nader onderzoek gedaan naar de specifieke radioactieve stof en naar de bron van de verontreiniging.

Aanwezigheid in drinkwater(bronnen) en monitoring

Volgens de Drinkwaterregeling dienen concentraties radon in het ruwe water te worden gecontroleerd wanneer op grond van de resultaten van representatieve onderzoeken of andere betrouwbare informatie kan worden aangenomen dat de in het Drinkwaterbesluit vastgestelde maximum waarde wellicht is overschreden. Voor tritium en de indicatieve dosis geldt dat controle voor deze parameters in voor menselijke consumptie bestemd water wordt uitgevoerd wanneer er binnen het stroomgebied een antropogene bron van tritium of andere kunstmatige radionucliden aanwezig is en niet op basis van andere bewakingsprogramma's of ander onderzoek kan worden aangetoond dat het niveau van deze parameters beneden de in het Drinkwaterbesluit opgenomen maximum waarde ligt.

Radon

De RIVM-meetcampagnes van 1995 en 2015 in de provincies Overijssel en Limburg hebben laten

zien dat de concentraties radon in grondwater en het eruit bereide drinkwater ver beneden de grenswaarde van 100 Bq/l liggen. Ook blijkt uit de meetcampagnes dat de concentraties radon in Nederland zich op een laag en constant niveau bevinden. In grondwater varieerden de meetwaarden van 1,6 – 16,7 Bq/l en in het daaruit bereide drinkwater van 0,2 – 9,5 Bq/l (5). Volgens de Europese Euratom Richtlijn (1) is het daarom niet nodig om de bepaling van radon in het nationale monitoringprogramma voor drinkwater op te nemen. De huidige routinematige bepaling van totaal alfa, totaal bèta en tritium is voldoende voor de meeste radioactiviteitsparameters en geeft een betrouwbare schatting van de dosis (indicatieve dosis) (5).

Tritium

Tussen 2015 en 2020 is tritium in ruw oppervlaktewater over de jaren gemiddeld in 65% in van de gerapporteerde winpunten aangetroffen. Er is geen trend in dit percentage over de jaren. De rapportagegrens ligt tussen de 0,01 – 5 Bq/l. De mediaanconcentratie ligt net onder de rapportagegrens van 5 Bq/l (3,6 Bq/l). Er is een dalende trend in de mediaanconcentratie over de jaren. Dit heeft mogelijk met de lagere rapportagegrens te maken. Het maximum gemeten concentratie is 41 Bq/l in 2016. Maxima in andere jaren liggen tussen de 26 en 30 Bq/l. Tussen 2015 en 2020 wordt tritium in ruw grondwater over de jaren gemiddeld in 4,4% van de gerapporteerde winpunten aangetroffen. Er is geen trend in dit percentage over de jaren. De rapportagegrens ligt tussen de 0,01 – 5 Bq/L. De mediaanconcentratie ligt net onder de rapportagegrens van 5 Bq/l (4,7 Bq/l). De maximum gemeten concentratie is 12,8 Bq/l in 2015. Maxima in andere jaren liggen tussen de 7,3 en 10 Bq/l.

Zuivering

Radon kan met beluchting gemakkelijk uit het ruwe water worden verwijderd (99,9%). Dit leidt wel tot radioactieve besmetting van de lucht nabij de zuivering. Ook ionenwisselaars en omgekeerde osmose verwijderen radon goed. Actieve-koolfiltratie kan (al dan niet in combinatie met ionenwisseling) ook effectief radon verwijderen, maar dit vereist wel grote hoeveelheden actieve kool (3).

De meeste deeltjes-gebonden radioactiviteit kan redelijk tot goed worden verwijderd door de gebruikelijke filtratietechnieken, met ionenwisseling en omgekeerde osmose als veruit de beste verwijderingsmethoden (3).

Tritium kan niet uit water worden verwijderd (3).

Referenties

[1] Richtlijn 2013/51/Euratom van de Raad van 22 oktober 2013 tot vaststelling van voorschriften voor de bescherming van de volksgezondheid tegen radioactieve stoffen in voor menselijke consumptie bestemd water (PB L 296 van 7.11.2013).

[2] <https://www.rivm.nl/straling-en-radioactiviteit>.

[3] World Health Organization (2017): Guidelines for drinking-water quality; Fourth edition incorporating the first addendum. WHO, Genève.

[4] <https://nl.wikipedia.org/wiki/Tritium>.

[5] Kwakman, J.P.M., Versteegh, J.F.M. (2016): Radon-222 in ground water and finished drinking water in the Dutch provinces Overijssel and Limburg. Measuring campaign 2015. RIVM 2016-0048. RIVM, Bilthoven.

● Saturatie Index (SI)

Grondslag norm: bedrijfstechnisch

Drinkwaterbesluit 2011 minimale jaargemiddelde waarde -0,2 pH-eenheden

WHO 2022: geen richtwaarde

EU Drinkwaterrichtlijn 2020: geen parameterwaarde

Herkomst

Om uitloging (en dus verzwakking) van asbestcement en cementshoudende leidingen te beperken, is in het Drinkwaterbesluit de parameter Saturatie Index (SI) opgenomen: een maat voor de verzadiging van calciumcarbonaat in drinkwater (zie <https://www.kwrwater.nl/projecten/de-invloed-van-waterkwaliteit-op-uitloging-van-cementshoudende-leidingen/>). Een positieve SI geeft aan dat het water kalk-afzettend is, een negatieve SI geeft aan dat het water kalk-oplossend is. De pH (zuurgraad, zie betreffende factsheet) speelt via de SI een belangrijke rol bij afzettingen in het leidingnet en het oplossen van leidingmaterialen [2]. Bij een te lage SI corroderende cementshoudende leidingen. Corrosiebescherming geldt voor alle soorten leidingen. De meeste indices die zijn ontwikkeld om de corrosiepotentie te karakteriseren, zijn gebaseerd op de aanname dat water met de neiging om calciumcarbonaat (calciet) op metalen oppervlakken af te zetten minder corrosief zal zijn. Er is geen corrosie-index die voor alle materialen geldt. In het algemeen is water met een hoge pH, hoge concentratie calcium en hoge alkaliniteit minder corrosief. In het leidingnet gaat het met name om de metallische materialen koper, messing, gietijzer en staal [1].

Het rapport [KWR 2013.069](#) 'Conditionering: de optimale samenstelling van drinkwater; Kiwa-Mededeling 100 – Update 2013' [4] uit 2013 is de geactualiseerde versie van [Kiwa-Mededeling 100](#) 'Optimale samenstelling van drinkwater' (1988) [3]. In 2018 is de vijfjaarsrevisie van dit rapport aan de orde geweest, maar die revisie bleek niet noodzakelijk. In 2013 en ook in 2018 is vastgesteld dat de parameter SI voor producten uit cementgebonden materialen de nodige aandacht zou moeten krijgen, mede omdat die parameter is opgenomen in [Bijlage A](#) van het [Drinkwaterbesluit](#). Uiteindelijk heeft een daarvoor opgesteld projectplan een plek gekregen binnen het Bedrijfsonderzoek (BO, met als deelnemers de drinkwaterbedrijven PWN, Vitens, Oasen en WMD Drinkwater). In 2021 is het rapport [BTO 2021.052](#) 'De invloed van de drinkwatersamenstelling op uitloging van cementshoudende leidingmaterialen: een model' [5] met de modelbeschrijving (voor onderzoekers) beschikbaar gekomen. In een vervolgproject in 2022 is vervolgens het rapport [BTO 2022.045](#) 'De invloed van de drinkwatersamenstelling op uitloging van cementshoudende leidingmaterialen: modelvalidatie en gevoeligheidsstudie' [6] opgesteld en verschenen. Daarin is niet alleen het model verder uitgebreid en gevalideerd, maar is er ook een gevoeligheidsstudie uitgevoerd die moest uitwijzen of er met betrekking tot de parameter SI in de toekomst een aangepaste aanbeveling voor de drinkwatersamenstelling wenselijk is. In 2023 is dit onderzoek besproken met vooraanstaande experts uit de internationale wetenschappelijke gemeenschap. Deze bevestigden de aanpak van het model en de gevoeligheidsstudie, die substantiële vraagtekens stelt bij de effectiviteit van de SI als indicator voor de bescherming tegen uitloging (dit is gerapporteerd in [BTO 2023.089](#) 'De invloed van de drinkwatersamenstelling op de uitloging van cementshoudende leidingmaterialen: international peer review' [7]). Er wordt aangestuurd op experimentele bevestiging van deze resultaten alvorens een wijziging van de norm aan te bevelen.

Blootstellingsroutes

De SI beschrijft de mate van verzadiging van calciumcarbonaat in drinkwater. Een blootstellingsroute is voor de parameter SI dus niet relevant.

Gezondheidskundige betekenis

De SI in het Drinkwaterbesluit heeft een bedrijfskundige grondslag en is gezondheidskundig niet van belang. Een indirect gezondheidskundig belang is er wel, omdat dit beschermend is tegen het uitlogen van het cementgebonden materiaal en het vrijkomen van asbestdeeltjes (zie factsheet voor asbest).

Normen en richtlijnen verklaard

De SI valt in het Drinkwaterbesluit onder de bedrijfstechnische parameters, omdat deze parameter met name van belang is om uitloging van asbestcement en cementshoudende leidingen (dus tijdens het transport en de distributie van drinkwater c.q. in het leidingnet) te beperken.

Aanwezigheid in drinkwater(bronnen) en monitoring

De SI wordt volgens de Drinkwaterregeling uitsluitend bepaald in drinkwater aan het tappunt, waarbij het volgens het Drinkwaterbesluit om een jaargemiddelde waarde gaat.

Voor de parameter geldt een minimumwaarde ($> -0,2$ pH-eenheden jaargemiddelde). Voor drinkwater in het leidingnet ligt deze waarde gemiddeld rond de 0,13. In 2020 is deze waarde 0,006 maar deze waarde is gebaseerd op ongeveer de helft van de meetlocaties ten opzichte van de andere jaren. Het jaargemiddelde is niet voor alle meetlocaties boven de minimumwaarde. Op ongeveer 12 van de 175 meetlocaties per jaar is het jaargemiddelde beneden (tot $-0,66$) deze waarde.

Uit de ILT-rapportage over drinkwater in onder meer 2015 en 2016, : *‘Van enkele locaties melden drinkwaterbedrijven incidenteel een overschrijding van de saturatie-index. Die index is een maat voor de agressiviteit van het water ten opzichte van het leidingmateriaal. In de EU-richtlijn is deze parameter niet opgenomen, maar hij staat wel in het Drinkwaterbesluit. Ook hier ligt de oorzaak bij de samenstelling van de grondstof. De drinkwaterbedrijven treffen bedrijfstechnische maatregelen.’*

Overschrijdingen	Jaar
22	2015
30 (van 9940 metingen)	2016
1 (na klachten en werkzaamheden)	2016
32 (van 9946 metingen)	2017
35 (van 9934 metingen)	2018
30 (van 3238 metingen)	2019
28 (van 3279 metingen)	2020

Zuivering

Niet van toepassing.

Referenties

[1] WHO (2022): ‘Guidelines for drinking-water quality; Fourth edition incorporating the first and second addenda’, WHO, Geneva.

[9789240045064-eng \(2\).pdf](#)

[2] Dijk-Looijaard, A.M. van (1993): ‘Herziening Normen Waterleidingbesluit’, rapport SWO 92.294, KIWA Onderzoek en Advies, Nieuwegein.

[3] Hoven, Th.J.J. van den, en Eekeren, M.W.M. van (1988): ‘Optimale samenstelling van drinkwater’, [Mededeling 100](#), KIWA Hoofdafdeling Speurwerk, Nieuwegein.

[4] Slaats, P.G.G., Meerkerk, M.A., en Hofman-Caris, C.H.M. (2013): ‘Conditionering: de optimale samenstelling van drinkwater; Kiwa-Mededeling 100 – Update 2013’, rapport [KWR 2013.069](#), KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.

- [5] Hockin, A., Korevaar, M., en Laarhoven, K. van (2021): 'De invloed van de drinkwatersamenstelling op uitloging van cementhoudende leidingmaterialen: een model', rapport [BTO 2021.052](#), KWR Water Research Institute, Nieuwegein.
- [6] Hockin, A., Korevaar, M.W., en Laarhoven, K.A. van (2022): 'De invloed van de drinkwatersamenstelling op uitloging van cementhoudende leidingmaterialen: modelvalidatie en gevoeligheidsstudie', rapport [BTO 2022.045](#), KWR Water Research Institute, Nieuwegein.
- [7] Hockin, A., Laarhoven, K. van, en Korevaar, M. (2023): 'De invloed van de drinkwatersamenstelling op de uitloging van cementhoudende leidingmaterialen: international peer review', rapport BTO 2023.089, KWR Water Research Institute, Nieuwegein.

● Seleen

Grondslag norm: gezondheidkundig

Drinkwaterbesluit 2011: maximum waarde 20 µg/l (Opmerking: 'Er wordt een parameterwaarde van 30 µg/l toegepast voor regio's waar de geologische omstandigheden tot hoge concentraties seleen in het grondwater zouden kunnen leiden.')

WHO 2022: voorlopige richtwaarde 40 µg/l

EU Drinkwaterrichtlijn 2020: parameterwaarde 20 µg/l (Opmerking: 'Er wordt een parameterwaarde van 30 µg/l toegepast voor regio's waar de geologische omstandigheden tot hoge concentraties seleen in het grondwater zouden kunnen leiden.')

Herkomst

Seleen of selenium (Se) is aanwezig in de aardkorst, vaak samen met zwavel bevattende mineralen [1]. De concentraties liggen de range van 0,01 – 2 mg/kg [2], maar (veel) hogere concentraties kunnen voorkomen in vulkanisch, sedimentair en carbonaatgesteentes [1]. Seleen komt in verschillende vormen in de bodem voor: selenide (Se^{2-}), elementair seleen (Se^0), seleniet (Se^{4+})¹⁰ en selenaat (Se^{6+})¹¹. Welke vormen van seleen aanwezig zijn, is afhankelijk van de zuurgraad en de beschikbaarheid van zuurstof. In zuur water en reducerende omstandigheden wordt anorganisch seleniet gereduceerd tot elementair seleen. In basische en zuurstofrijke omstandigheden heeft de vorming van selenaat de voorkeur. Seleniet en selenaat zijn oplosbaar in water in tegenstelling tot elementair seleen dat niet oplosbaar is in water. In alkalische bodems is seleen aanwezig in de vorm van oplosbaar selenaat en seleniet, en daardoor beschikbaar voor planten [1].

Blootstellingsroutes

De inname van seleen via de voeding is in het algemeen veel groter dan de inname via het drinkwater of via de lucht [1].

In plantaardig en dierlijk weefsel is seleen meestal gebonden aan eiwitten. De belangrijkste bronnen van seleen uit voedsel zijn vlees en schaal- en schelpdieren (0,3 – 0,5 mg/kg) vanwege hun hoge eiwitgehalte en granen (0,1 – 10 mg/kg), omdat deze in grote hoeveelheden worden gegeten. Groenten en fruit hebben relatief lage gehalten seleen (< 0,01 mg/kg) [1].

Geografisch gezien varieert de dagelijkse inname zeer als gevolg van een wisselende hoeveelheid seleen in de bodems waar de landbouwproducten worden verbouwd en in het voedsel dat wordt gebruikt om landbouwhuisdieren te voeren. Het gehalte seleen in mais, rijst en sojabonen varieert volgens de WHO in China van 0,005 tot 45 mg/kg [1]. In de jaren 60 van de vorige eeuw werden in Finland (een land met lage gehalten seleen in de bodem) ziektes geconstateerd bij landbouwhuisdieren als gevolg van een gebrek aan seleen. Als gevolg van medicatie en seleen-bevattende supplementen in het diervoedsel werden de ziektes uitgeroeid. Om ziektes bij mensen te voorkomen, is besloten om seleen toe te voegen aan kunstmest zodat het inlandse graan seleen bevat in een hoeveelheid van circa 100 mg/kg [3].

Gezondheidkundige betekenis

Seleen is een essentieel sporenelement. De dagelijkse aanbevolen hoeveelheid voor mannen en vrouwen is 26 – 35 µg/l en voor kinderen 6 – 21 µg/l, afhankelijk van de leeftijd [4].

Vanwege de zorgen voor nadelige effecten van te hoge inname van seleen heeft de FAO/WHO een aanvaardbare maximaal toelaatbare hoeveelheid seleen van 400 µg/dag vastgesteld [4].

¹⁰ Ook gehydrateerd calciumsulfaat ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) wordt aangeduid als seleniet.

¹¹ In werkelijkheid is seleen niet in deze ionvorm aanwezig. Selenaat is aanwezig als SeO_4^{2-} . Voor de verwijdering uit water is dit een belangrijk verschil: er moeten geen kationen, maar anionen worden verwijderd.

Blootstelling aan hoge concentraties seleen kan leiden tot maag-darmstoornissen, huidverkleuring, verrotte tanden, haar- en nagelverlies, nagelvervormingen en veranderingen in het perifere zenuwstelsel [4]. Ook andere factoren hebben echter een sterke invloed op het ontstaan van die ziektes [1], waardoor niet altijd duidelijk is dat die door de hoge concentraties seleen worden veroorzaakt.

Normen en richtlijnen verklaard

Op basis van een maximaal toelaatbare hoeveelheid seleen van 400 µg/dag, een allocatie aan drinkwater van 20% en een consumptie van 2 l water per dag is een voorlopige richtwaarde van 40 µg/l bepaald [4]. De WHO beschouwt haar richtwaarde in drinkwater als voorlopig, omdat er nog onzekerheden (niet nader gekwalificeerd) in de wetenschappelijke databases aanwezig zijn [4].

In het Drinkwaterbesluit is de parameterwaarde voor seleen volgens de Europese Drinkwaterrichtlijn overgenomen. Op basis van recente inzichten in de gezondheidskundige aspecten van seleen is de grenswaarde recent (2020) versoepeld van 10 naar 20 µg/l met de opmerking dat in sommige situaties een maximale waarde van 30 µg/l van toepassing is (zie boven) [5].

Aanwezigheid in drinkwater(bronnen) en monitoring

De parameter seleen wordt volgens de Drinkwaterregeling bepaald in ruw oppervlaktewater (in grondwater dat is bestemd voor de bereiding van drinkwater is er geen meetverplichting) en in drinkwater na de laatste zuiveringsstap of aan het tappunt.

Tussen 2015 en 2020 wordt seleen uitsluitend in 2018 en 2020 aangetroffen in ruw oppervlaktewater: in 9% van de meetlocaties (twee van de elf). De rapportagegrens varieert tussen 0,5 – 1,0 µg/l. De mediaanconcentratie ligt op de rapportagegrens van 1 µg/l. De hoogste waarde gemeten is over die jaren respectievelijk 1,9 en 0,5 µg/l. In drinkwater na de laatste zuiveringsstap wordt seleen per jaar in minder dan 4% procent van de meetlocaties aangetroffen¹² en daarbij liggen de maxima in de jaren 2015 – 2020 rond de 1,3 µg/l.

Seleen wordt niet vermeld in de ILT rapportages over de drinkwaterkwaliteit in de jaren 2015 – 2022.

Zuivering

De traditionele zuiveringsmethoden en actieve-koolfiltratie hebben een lage verwijderingscapaciteit voor seleen [1].

Voor een effectieve verwijdering van seleen is men aangewezen op ionenwisseling en omgekeerde osmose. Mogelijk kan nanofiltratie seleen ook effectief verwijderen [1]. Hierbij is het van belang of een anion of kation moet worden verwijderd en de grootte van het ion.

Referenties

[1] WHO (2011): 'Selenium in Drinking-water; Background document for development of WHO Guidelines for drinking-water quality', fourth edition, WHO/HSE/WSH/10.01/14, WHO, Genève.

[Microsoft Word - Fourth edition selenium final 14 June 2011_2.doc \(who.int\)](#)

[2] Brands, B. (2015): 'Selenium: Functie in plant en mens', Groningen Institute for Evolutionary Life Sciences, Rijksuniversiteit Groningen, Groningen.

[Bachelorscriptie: Selenium: Functie in Plant en Mens - Student Theses Faculty of Science and Engineering \(rug.nl\)](#)

[3] Koivistoinen, P., Huttunen, J.K. (1986): 'Selenium in food and nutrition in Finland; An overview on research and action', Annals of Clinical Research, 18 (1), 13 – 7.

[Selenium in food and nutrition in Finland. An overview on research and action - PubMed \(nih.gov\)](#)

¹² In 2020 is dit percentage weliswaar 17%, maar omdat metingen in dat jaar werden gerapporteerd op 0,5 µg/l precies lijkt dit eerder op een vergeten '<' symbool in de data.

[4] WHO (2022): 'Guidelines for drinking-water quality;; Fourth edition incorporating the first and second addenda', Geneva.

<https://www.who.int/publications/i/item/9789240045064>

[5] <https://www.kwrwater.nl/actueel/eu-drinkwaterrichtlijn-gebaseerd-op-advies-kwr/>

● Sulfaat

Grondslag norm: organoleptisch/esthetisch

Drinkwaterbesluit 2011: maximum waarde 150 mg/l

WHO 2022: geen richtwaarde

EU Drinkwaterrichtlijn 2020: parameterwaarde 250 mg/l

Herkomst

Sulfaat komt van nature voor in mineralen zoals bariet (BaSO_4) en gypsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Een belangrijke antropogene bron voor zwavel in het milieu vormde in het verleden vooral de verbranding van fossiele brandstoffen naar de lucht, die door maatregelen sterk is afgenomen. Zo is de uitstoot van SO_2 van bronnen op land fors (86%) afgenomen in de periode 1990 – 2017 [1].

De toepassing in kunstmest zorgt in belangrijke mate voor de emissies van sulfaat op het land. Daarnaast wordt sulfaat ook veel gebruikt in de industrie bij de productie van onder andere verfstoffen, glas, papier, zeep en bestrijdingsmiddelen [2, 3]. Via atmosferische depositie en lozing van industrieel afvalwater komen sulfaten in het oppervlaktewater terecht. In grondwater zijn sulfaten aanwezig door oxidatie van sulfiden uit atmosferische depositie en uitspoeling via regenwater in het grondwater, dierlijke mest, kunstmest en van nature aanwezige mineralen. Deze oxidatie kan plaatsvinden door zuurstof, onder andere als gevolg van verlaging van de grondwaterspiegel. Oxidatie van sulfiden tot sulfaat wordt beschouwd als de motor die de oplossing van kalk in gang zet en daarmee de hardheid van grondwater veroorzaakt. De aanwezigheid van sulfaat in combinatie met chloride en bicarbonaat in het drinkwater in het leidingnet kan leiden tot corrosie van gietijzeren en stalen leidingen [3]. Bij hogere concentraties sulfaat treedt er meer corrosie op en wordt meer ijzer door de leidingen afgegeven. Sulfaat verhoogt ook het koperoplossend vermogen van drinkwater.

Blootstellingsroutes

De dagelijkse inname van sulfaat bedraagt ongeveer 500 mg [2, 3]. In het algemeen vindt de grootste inname plaats via voedsel. In het buitenland kan in gebieden met hoge concentraties sulfaat in de grondstof voor drinkwater de inname via drinkwater hoger zijn dan de inname via voedsel [2, 3]. De bijdrage van lucht aan de dagelijkse inname is verwaarloosbaar.

Gezondheidskundige betekenis

Sulfaat is weinig toxisch. Het wordt slecht geabsorbeerd vanuit de dunne darm. Twee onderzoeken worden door de WHO genoemd: een studie naar sulfaat in het dieet van biggen en een onderzoek naar sulfaat in drinkwater met menselijke vrijwilligers dat zou wijzen op een laxerend effect bij concentraties van 1.000 – 1.200 mg/l, maar geen toename van diarree, uitdroging of gewichtsverlies. Een laxatief effect van sulfaat wordt in het algemeen niet waargenomen bij concentraties < 600 mg/l [2, 3]. De smaakdrempel van de meeste sulfaat-zouten ligt tussen 200 – 900 mg/l [2, 3].

Normen en richtlijnen verklaard

In de Europese Drinkwaterrichtlijn staat voor sulfaat een parameterwaarde van 250 mg/l. Hierbij wordt vermeld dat het water niet agressief mag zijn. In het Drinkwaterbesluit is een maximum waarde van 150 mg/l opgenomen. Nederland houdt daarmee vast aan het 'stand still'-principe. De WHO geeft geen gezondheids-gerelateerde richtlijnwaarde voor sulfaat [3], omdat de bestaande gegevens over sulfaat in drinkwater er niet op wijzen dat schadelijke effecten op de menselijke gezondheid zouden optreden [3]. Wel wordt een concentratie van 250 mg/l genoemd als concentratie die tot klachten van de consument kan leiden [3]. Voor sulfaat wordt door de WHO wel aanbevolen om gezondheidsautoriteiten op de hoogte te stellen van drinkwaterbronnen

met concentraties sulfaat van meer dan 500 mg/l, vanwege de gastro-intestinale effecten van de inname van drinkwater met een hoge concentratie sulfaat. De aanwezigheid van sulfaat in drinkwater kan ook een merkbare smaak veroorzaken en kan bijdragen aan de corrosie van drinkwaterleidingen [3].

Aanwezigheid in drinkwater(bronnen) en monitoring

Volgens de Drinkwaterregeling dient de parameter sulfaat te worden gemeten in ruwwater en in drinkwater na de laatste zuiveringsstap of aan het tappunt.

In ruw oppervlaktewater wordt sulfaat altijd aangetroffen boven de rapportagegrens. Sulfaat in oppervlaktewater wordt ook wel 'conservatief' genoemd, omdat de concentratie in drinkwaterbronnen alleen door verdunning en lozing wordt beïnvloed en nauwelijks door de fysisch-chemische of microbiologische processen die zich in het water afspelen. Het verloop van de concentraties van deze stoffen in het water wordt dus voornamelijk door de grootte van de lozingen en de afvoer van de rivier bepaald. De mediaanconcentratie is voor ruw oppervlaktewater over de jaren stabiel tussen 52 en 59 mg/l en ook de maximale concentratie ligt vrij stabiel rond de 78 mg/l.

In grondwater dat wordt gebruikt voor de bereiding van drinkwater wordt sulfaat in gemiddeld 80% van de locaties aangetroffen. Dit percentage neemt toe in de jaren 2015 – 2020, maar dat kan te maken hebben met een verlaagde rapportagegrens over de jaren. In ruw grondwater neemt de mediaanconcentratie over de jaren 2015 – 2020 toe van 15 naar 22 mg/l. De gemeten maxima liggen tussen de 120 en 140 mg/l.

In een landelijke studie door het RIVM [4] in 2015 bleek dat de afgelopen 10 tot 20 jaar (de lengte van de meetreeksen verschillen) in bijna alle regio's concentraties sulfaat in het water dat uitspoelt uit de wortelzone en naar het slootwater, te zijn afgenomen. Deze afname treedt op zowel bij locaties onder landbouw als onder natuur. De concentraties sulfaat in het ondiepe grondwater lijken eveneens te zijn afgenomen, maar die in het diepere grondwater blijven die gelijk (Klei- en Veenregio) of nemen toe (Zandregio). De concentraties sulfaat in de regionale oppervlaktewateren dalen, behalve in de Lössregio. Die daling is echter niet duidelijk in de sterk door landbouw beïnvloede regionale oppervlaktewateren [4].

Tussen 2015 en 2020 is sulfaat na de laatste zuiveringstap in alle meetlocaties aangetroffen bij oppervlaktewater als bron. In grondwater als bron is dit iets lager: 87%. De rapportagegrenzen liggen tussen de 0,5 en 5 mg/l. De mediaanconcentratie is 19 mg/l bij grondwater als bron en 47 mg/l bij oppervlaktewater als bron. De hoogste gemeten concentratie in drinkwater met als bron grondwater is over de jaren heen jaren 110 tot 120 mg/l. Voor oppervlaktewater als bron is dit tussen de 75 en 106 mg/l.

Zuivering

Sulfaat kan uit het water worden verwijderd met behulp van membraanfiltratie, elektrolyse en ionenwisselaars. De keuze voor een van deze processen hangt af van de combinatie met andere stoffen die moeten worden verwijderd. Verwijdering van sulfaat is bij geen van de Nederlandse drinkwaterproductielocaties nodig, omdat de concentraties in het ongezuiverde water onder de maximum waarde voor drinkwater liggen.

Referenties

[1] CLO (2023) Zwaveldioxide in lucht, 1990-2018 (2019) Compendium voor de Leefomgeving. Indicatoren: Luchtkwaliteit. Website: <https://www.clo.nl/indicatoren/nl0441-zwaveldioxide>, bezocht aug. 2023

[2] WHO (2023) Chemical fact sheets: Sulfate. WHO Fact sheet as extracted from the GDWQ, fourth edition incorporating the first and second addendum published in March 2022. <https://www.who.int/publications/m/item/chemical-fact-sheets--sulfate>



[3] WHO (2022) Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first and second addenda. Geneva: World Health Organization; 2022.

<https://www.who.int/publications/i/item/9789240045064>, bezocht: Aug. 2023.

[4] Fraters B, de Goffeau A. (2015) Sulfaat in grondwater en oppervlaktewater in Nederland : Overzicht van meetresultaten van nationale meetnetten. RIVM rapport 2014-0120.

<https://www.rivm.nl/publicaties/sulfaat-in-grondwater-en-oppervlaktewater-in-nederland-overzicht-van-meetresultaten-van>

● Temperatuur

Grondslag norm: indicator/bedrijfstechnisch

Drinkwaterbesluit 2011: maximum waarde 25°C

Opmerking: Geldt voor drinkwater

WHO 2022: geen richtwaarde

EU Drinkwaterrichtlijn 2020: geen vermelding

Herkomst

De temperatuur van de diepere ondergrond en dus ook van het daarin aanwezige grondwater ten behoeve van de bereiding van drinkwater wordt zeer beperkt en vertraagd beïnvloed door het seizoen en de buitentemperatuur c.q. zonneshijn, en is daarom gedurende het jaar relatief stabiel (10 – 12°C). De temperatuur van freatisch gewonnen duinwater wordt beïnvloed door de temperatuur van het geïnfilterde oppervlaktewater en varieert daardoor iets sterker gedurende het jaar (10 – 16°C). Het behoeft geen betoog dat die beïnvloeding voor oppervlaktewater als grondstof voor de bereiding van drinkwater geheel anders is met een watertemperatuur die gedurende het jaar varieert van 4 – 25°C.

De temperatuur van drinkwater aan de tap wordt vrijwel volledig bepaald door de bodemtemperatuur rond het leidingnet, normaliter op 1 m diepte. Tijdens het transport en de distributie kan het drinkwater opwarmen als gevolg van een combinatie van veel (in)directe zonnestraling, droge zandbodem, tegels als bodembedekking en antropogene warmtebronnen [1]. Met het oog op de stijgende temperatuur als gevolg van klimaatverandering zijn maatregelen om de toenemende opwarming van het drinkwater in het leidingnet te verkleinen noodzakelijk [2]. Dit geldt met name in het stedelijk gebied waar de opwarming het hoogst is. Te denken valt onder andere aan het dieper leggen van leidingen, leidingen in groenstroken, opwarming van de lucht beperken door meer groen (met name bomen) en vocht vasthouden in de bodem [2].

Blootstellingsroutes

Niet van toepassing.

Gezondheidskundige betekenis

Er is geen directe relatie met de temperatuur van het water en de gezondheidskundige waterkwaliteit. Koud of koel water is over het algemeen smakelijker dan warm of lauw water. De temperatuur kan daardoor van invloed zijn op de aanvaardbaarheid van de aanwezigheid van een aantal anorganische stoffen en chemische microverontreinigingen die de smaak kunnen beïnvloeden. Daarnaast bevordert een hoge watertemperatuur de groei van micro-organismen en kan problemen op het gebied van smaak, geur, kleur en corrosie veroorzaken of versterken [3].

Normen en richtlijnen verklaard

De temperatuur van drinkwater op het leveringspunt mag niet hoger zijn dan 25°C. Deze maximale temperatuur houdt verband met het beperken van de microbiologische nagroei die met name tijdens het transport en de distributie en vervolgens na het leveringspunt ook in drinkwaterinstallaties kan plaatsvinden. De watertemperatuur speelt een rol bij dit proces, omdat een hogere temperatuur de groei van micro-organismen versnelt.

Er zijn (steeds vaker) omstandigheden waarin een overschrijding van de maximum waarde van drinkwater van 25°C niet is te voorkomen, zoals in het geval van oppervlaktewater als grondstof voor de bereiding van drinkwater in combinatie met een hittegolf. Een kortdurende overschrijding van die maximum waarde levert meestal geen gevaar voor de gezondheid van consumenten op. Conform de wet- en regelgeving worden overschrijdingen van de maximum waarde voor de

temperatuur van drinkwater door de drinkwaterbedrijven altijd gemeld aan de toezichthouder (ILT).

Aanwezigheid in drinkwater(bronnen) en monitoring

Volgens de Drinkwaterregeling moet de temperatuur van ruwwater en die van drinkwater worden gemeten. In het geval van drinkwater dient dat aan het tappunt te gebeuren.

De gemiddelde jaartemperatuur van het water in het leidingnet ligt rond de 13°C. Deze temperatuur stijgt met 0,055 graden per jaar over de jaren 2001 – 2020. De per jaar gemeten maxima liggen rond de 30°C. Er worden sporadisch uitschieters gemeten van 42°C en 64°C.

In ILT-rapportages staan de volgende aantallen overschrijdingen (over de jaren 2016 – 2021):

Jaren	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Aantal keer	1	5	51	10	12	5
Temperatuur	27,1	25,4 – 42,0	25,8 – 29,3	25,1 – 29,9	25,3 – 30,7	25,5 – 26,8

In ruw oppervlaktewater is de jaargemiddelde temperatuur vrij constant rond de 12,5°C. Ook hier is een stijging van 0,055 graden per jaar te zien. Maxima liggen rond de 25,5°C. Water uit de duinen heeft over het algemeen de laagste temperatuur. Voor ruw grondwater is de temperatuur rond de 11,3°C. De stijging is hier 0,025 graden Celsius per jaar. Maxima liggen rond de 17,2°C.

Zuivering

Bij de bereiding van drinkwater zijn geen voorzieningen beschikbaar voor het koelen van het te behandelen water.

Bij drinkwaterbedrijf Vitens (drinkwaterproductielocatie Culemborg) wordt de warmte die aanwezig is in drinkwater gebruikt voor het verwarmen van huizen. Het drinkwater zal daardoor een lagere temperatuur krijgen [4]. Voor Schiphol is met water van de Watertransportmaatschappij Rijn-Kennemerland (WRK) een soortgelijk systeem in onderzoek [5].

Referenties

[1] Agudelo-Vera, C.M. (2018). Aanpak om de hotspots in het leidingnet terug te dringen. BTO 2018.024. KWR, Nieuwegein.

[2] Agudelo-Vera, C.M., Blokker, E.J.M., Quintiliani, C. (2020). Maatregelen tegen ongewenste opwarming van het drinkwater in het leidingnet. BTO 2020.015. KWR, Nieuwegein.

[3]. WHO (2022). Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first and second addenda. WHO, Geneva.
[9789240045064-eng \(2\).pdf](#)

[4] website energie bedrijf Thermo Bello bv. <https://www.thermobello.nl/techniek>

[5] R.V.O. Nederland (23-02-2017) Verkenning datacenterkoeling met waterleidingkoude

● Troebeling

Grondslag norm: Indicatoren – Organoleptische/esthetische parameters

Drinkwaterbesluit 2011: maximum waarde 4 FTE 'aan de tap' en 1 FTE 'af pompstation'; de troebelingsgraad dient aanvaardbaar voor de gebruikers te zijn en mag geen abnormale veranderingen vertonen

WHO: geen vermelding

EG-Drinkwaterrichtlijn 1998: de troebelingsgraad dient aanvaardbaar voor de consument te zijn en geen abnormale veranderingen te vertonen; 1 FTE 'af pompstation'

Introductie

Troebeling wordt veroorzaakt door de aanwezigheid van gesuspendeerd materiaal zoals colloïdale deeltjes, klei, slib, plankton en microscopische organismen. In de meeste natuurlijke wateren komt troebeling voor.

De mate van troebeling van water wordt vastgesteld door de verstrooiing van het licht in het water te vergelijken met de verstrooiing van licht in een standaard oplossing met formazine. Omdat optische eigenschappen afhangen van de grootte van gesuspendeerde deeltjes wordt dit vormvaste materiaal met uniforme deeltjesgrootte vaak gebruikt als standaard voor kalibratie en reproduceerbaarheid. De mate van troebeling wordt dan weergegeven in FTE, de Formazine Troebelings Eenheid. De mate van troebeling kan ook worden weergegeven in NTU, de Nephelometric Turbidity Unit. Globaal komen deze eenheden overeen. Soms wordt de mate van troebeling weergegeven in milligram silica (SiO_2) per liter. 1 FTE komt overeen met 2,5 mg/l SiO_2 . In het voorstel tot herziening van de [Europese Drinkwaterrichtlijn](#) wordt de mondiale norm ISO 7027 genoemd voor het bepalen van de troebelingsgraad [3].

Herkomst

Oppervlaktewater bevat meestal meer troebeling dan grondwater. Het merendeel van het gesuspendeerde materiaal bestaat uit bodemdeeltjes afkomstig van erosie van het land. De troebeling van water hangt samen met veel andere indicatoren van de waterkwaliteit. Zo beïnvloedt troebeling de kleur, smaak en geur van het water. Een hoge mate van troebeling kan storend werken op bepaalde zuiveringsprocessen, zoals membraanfiltratie. Ook kan troebeling via afzetting in het leidingnet aanleiding geven tot drukverliezen en soms corrosiebevorderend werken.

In het leidingnet kan resuspendering van sediment plaatsvinden als gevolg van de verstoring van de zogeheten biofilm in drinkwaterleidingen [1]. Een andere oorzaak is opwerveling van opgebouwde neerslag in het leidingnet, als gevolg van een verstoorde of veranderde waterstroming (na bijvoorbeeld werkzaamheden aan de leidingen of bluswerkzaamheden). Mangaanoxide en ijzeroxides kunnen op deze manier leiden tot een verhoogde troebelingsgraad met klachten van consumenten over 'bruinwater' als gevolg.

Blootstellingsroutes

De parameter is een maat voor de verstoring van drinkwater, zie onder. Andere blootstellingsroutes zijn niet van toepassing.

Gezondheidskundige betekenis

Een directe relatie tussen troebeling en gezondheidsaspecten ontbreekt. Troebeling kan echter wel een effect hebben op de microbiologische kwaliteit van het water. Het kan de detectie van bacteriën en virussen verstoren, maar het kan ook de groei van bacteriën bevorderen doordat nutriënten zijn geadsorbeerd aan de deeltjes. Bacteriën die op de gesuspendeerde deeltjes zitten, kunnen hierdoor sneller groeien. Het belangrijkste probleem van troebeling is echter het effect op

de desinfectie. Een hoge concentratie troebelings belemmert de werking van desinfectiemiddelen. Sommige gesuspendeerde deeltjes hebben een grote capaciteit om deeltjes te binden. Bij onvoldoende verwijdering van troebelings in de zuivering kunnen daardoor diverse organische en anorganische verontreinigingen in het drinkwater terecht komen (bijvoorbeeld bestrijdingsmiddelen of metalen).

Troebelings is in de grondslag een bedrijfstechnische parameter. Gezien de indirecte gezondheidsschadelijke effecten is het van belang de troebelings zo laag mogelijk te houden in het te distribueren drinkwater.

Normen en richtlijnen verklaard

De [Europese Drinkwaterrichtlijn](#) geeft aan dat troebelings aanvaardbaar voor de consument moet zijn en geen abnormale veranderingen mag laten zien. Voor drinkwater dat uit oppervlaktewater wordt bereid, geldt een streefwaarde van 1,0 NTU 'af pompstation'. In het [Drinkwaterbesluit](#) is voor troebelings een norm vastgesteld van 1 FTE 'af pompstation' en 4 FTE 'aan de tap'. 4 FTE komt overeen met 10 mg/l SiO₂. De WHO noemt geen grenswaarde voor de troebelings, maar stelt dat in het algemeen water met een troebelings van minder dan 5 NTU acceptabel voor de consument is. Vanwege de mogelijke effecten op de microbiologische eigenschappen van het water wordt echter aangeraden om de troebelings zo laag mogelijk te houden.

In de herziening van de [Europese Drinkwaterrichtlijn](#) is er sprake van dat troebelingsgraad wordt verplaatst naar het onderdeel voor microbiologische parameters (Bijlage I, deel A). Op aanbeveling van de WHO zijn nieuwe parameters aan de lijst toegevoegd, namelijk *Clostridium perfringens* en colibacteriën, troebelingsgraad (verplaatst vanuit het deel C 'Indicatorparameters') en somatische colifagen [3]. De maximum waarde is hier gehandhaafd op 1 FTE [3].

Aanwezigheid in drinkwater(bronnen) en monitoring

Volgens het [Protocol monitoring & toetsing drinkwaterbronnen KRW](#) geldt er een milieukwaliteitseis van 50 mg/l (= 20 FTE) voor de troebelingsgraad van oppervlaktewater. Bij de innamepunten van de drinkwaterbedrijven was in 2019 de maximaal gemeten waarde bij Andijk (IJsselmeer) 60 FTE, bij Nieuwegein (Lekkanaal) 32 FTE en bij Keizersveer (Maas) 120 FTE.

De troebelingsgraad moet door de Nederlandse drinkwaterbedrijven worden gemeten in het ruwe water. Hetzelfde geldt voor het drinkwater dat het leidingnet in gaat en voor het drinkwater aan het tappunt.

De gemiddelde troebelings van het drinkwater af pompstation is 0,12 FTE. Uit de overzichten van REWAB volgt dat gemiddelde meetwaarde in 2018 de waarde kent van 0,11 FTE. Deze waarde is constant in de afgelopen vijf jaar. In 2018 was de minimale waarde 0,03 FTE en de maximale waarde 0,42 FTE. Overschrijdingen van de maximum waarde volgens het [Drinkwaterbesluit](#) treden vaak eenmalig en zeer kortdurend op.

Zuivering

De eerste stap in de zuivering van Maaswater tot drinkwater voor Zuidwest-Nederland bestaat uit het selectief onttrekken van het rivierwater en vervolgens opslaan in drie in serie geschakelde bekkens. De mogelijkheid van selectieve inname wordt veelvuldig toegepast om de hoge troebelingsgraden met name in de wintermaanden te vermijden. Gedurende een gemiddelde verblijftijd van circa vijf maanden in de bekkens wordt de troebelingsgraad verder verlaagd tot een enkele FTE als gevolg van bezinking van deeltjes in de bekkens.

Troebelings kan eenvoudig worden verwijderd door zuiveringsprocessen zoals [coagulatie](#), [sedimentatie](#) en [filtratie](#). Als er veel troebelings aanwezig is in het drinkwater direct na de bereiding is dit vaak een teken dat de zuivering onvoldoende functioneert.

Referenties

[1] Vreeburg, J.H.G. (2007): '[Discolouration in drinking water systems: a particular approach](#)', dissertatie, Technische Universiteit Delft, Delft



[2] RIWA-Rijn (2020): 'Jaarrapport 2019; De Rijn', Vereniging van Rivierwaterbedrijven, Nieuwegein

<https://www.riwa-rijn.org/publicatie/jaarrapport-2019-de-rijn/>

[3] Europese Unie (2018): 'Voorstel tot de herziening van de Drinkwaterrichtlijn', Proposal for a DIRECTIVE OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL on the quality of water intended for human consumption (recast), Brussel.

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1519210589057&uri=CELEX:52017PC0753>

● Uranium

Grondslag norm: gezondheidskundig

Drinkwaterbesluit 2011: geen vermelding

WHO 2017: voorlopige richtwaarde 30 µg/l

Europese Drinkwaterrichtlijn 2020: parameterwaarde 30 µg/l

Herkomst

Uranium of uraan is het scheikundig element met de hoogste atoommassa dat van nature op aarde voorkomt [1]. Uranium zit van nature in rotsen en in de bodem. Uranium komt hoofdzakelijk in het milieu terecht via mijnbouw, de verbranding van steenkool en andere brandstoffen, en het gebruik van kunstmest. Dit kan ertoe leiden dat de concentratie van uranium in het milieu hoger wordt dan de van nature aanwezige achtergrondconcentratie. Uranium is vooral bekend vanwege de radioactiviteit en het gebruik van de verrijkte, sterk radioactieve vorm, in kerncentrales en atoomwapens. Deze bronnen leveren echter maar een kleine bijdrage aan de hoeveelheid uranium in het milieu. De chemische eigenschappen van natuurlijk uranium zijn daarentegen veel schadelijker dan de radioactieve eigenschappen ervan [2].

Landen waar uranium wordt gevonden, zijn onder andere Namibië, Australië, Canada, Turkije, Rusland, Verenigde Staten, Zuid-Afrika en vooral Kazachstan. In Europa komt uranium met name in Sudetenland (Tsjechië) voor [1].

In Nederland zijn de gehalten uranium in de bodem laag (tussen 0,4 en 8 milligram per kg droge aarde). In Zeeland zijn in de Formatie van Breda fosforietknollen aangetroffen die tot 300 mg/kg uranium bevatten [1].

Blootstellingsroutes

De blootstelling aan uranium via drinkwater is erg laag. Uitsluitend in die gevallen waar uranium in de bron aanwezig is, kan een groot gedeelte van de dagelijkse uranium-inname via drinkwater plaatsvinden [3]. In Nederland kan uranium wel in enige mate in oppervlaktewater terechtkomen door natuurlijke aanwezigheid in de bodem en bedrijfsactiviteiten [2].

Mensen worden via voedsel, lucht, bodem en oppervlaktewater altijd blootgesteld aan een bepaalde lage hoeveelheid uranium, omdat dit van nature in het milieu voorkomt. Uranium is in levensmiddelen aangetoond. De hoogste gehalten zijn gevonden in schelpdieren. In verse groenten, granen en vis zijn lagere gehalten aangetoond. Gemiddeld wordt per hoofd van de bevolking 1 – 4 µg uranium via het voedsel opgenomen. De inname van uranium via de lucht is nog veel lager [3].

Het langdurig bemesten van landbouwgrond met kunstmest uit fosfaatbodems met uranium kan het gehalte uranium in de bodem verhogen met verhoogde gehalten in de geteelde gewassen als gevolg [4].

Gezondheidskundige betekenis

Uranium en uraniumverbindingen zijn giftig. Bij blootstelling aan minder dan de dodelijke dosis bestaat er kans op schade aan de lever. Bij hogere doses kunnen ook andere organen onherstelbaar beschadigd raken. Daarnaast zijn alle uraniumisotopen radioactief (zie factsheet 'Radioactiviteit') en kunnen daardoor bij opeenhoping in het lichaam genetische schade aanrichten, die uiteindelijk kanker kan veroorzaken (vooralsnog zijn er echter onvoldoende data over de kankerverwekkendheid in mensen en proefdieren [5]). Doordat uranium uitsluitend alfastraling uitzendt die niet door de huid dringt, is dit gevaar bij uranium dat zich buiten het lichaam bevindt niet aanwezig [1,3].

Normen en richtlijnen verklaard

Momenteel is uranium niet als norm opgenomen in het Drinkwaterbesluit. De voorlopige richtlijn van de WHO bedraagt 30 µg/l. De richtlijn is voorlopig omdat er nog onvoldoende data zijn over de kankerverwekkendheid in mensen en proefdieren [5]. Ook in de Europese Drinkwaterrichtlijn is deze waarde opgenomen. In artikel 25 van deze richtlijn staat dat de lidstaten uiterlijk 12 januari 2026 moeten voldoen aan de parameterwaarde van 30 µg/l. In Nederland gevonden niveaus liggen (ver) beneden deze waarde.

Voor de concentratie uranium in oppervlaktewater is de Kaderrichtlijn Water van toepassing. De Kaderrichtlijn Water hanteert twee typen waterkwaliteitsnormen: de Jaargemiddelde Milieukwaliteitsnorm (JG-MKN) en de Maximaal Aanvaardbare Concentratie (MAC-MKN). De JG-MKN is de concentratie in water waarbij geen schadelijke effecten op het ecosysteem na langdurige blootstelling zijn te verwachten. Voor uranium is die vastgesteld op 0,5 µg/l. De MAC-MKN beschermt het ecosysteem tegen kortdurende concentratiepieken en bedraagt voor uranium 8,9 µg/l. Beide waarden gelden voor de concentratie uranium die in water is opgelost; de achtergrondconcentratie is in de grenswaarde verrekend [2].

Aanwezigheid in drinkwater(bronnen) en monitoring

Er is vooralsnog geen meetverplichting voor uranium.

Metingen van uranium worden uitsluitend door drinkwaterbedrijf Vitens in grondwater gerapporteerd. Tussen 2015 en 2020 is uranium in circa 16% van de winpuntmetingen boven de rapportagegrens aangetroffen. Er is een positieve trend in dit percentage te zien van 6% in 2015 tot 25% in 2020. Daarbij moet wel rekening worden gehouden met het feit dat de rapportagegrens tussen 2015 – 2016 en 2017 – 2020 van 1 µg/l naar 0,1 µg/l is gegaan. Het gevonden maximum neemt niet toe met de jaren en ligt rond de 5 µg/l. De gemiddeld gemeten concentratie voor uranium ligt in alle jaren onder de rapportagegrens van het betreffende jaar.

Vanaf de drinkwaterproductielocatie is er één meting per jaar beschikbaar voor één locatie. Aangetroffen concentraties zijn hier rond de 0,2 µg/L voor de jaren 2017 – 2020 en onder de rapportagegrens voor 2015 – 2016.

Zuivering

Coagulatie, ionenwisseling en omgekeerde osmose verwijderen uranium goed uit water (> 70%). Bij actieve-koolfiltratie is de verwijdering relatief laag (10 – 40%), terwijl zandfiltratie uranium nauwelijks verwijdert [5].

Referenties

[1] <https://nl.wikipedia.org/wiki/Uranium>.

[2] van Herwijnen, R. Verbruggen, E.M.J. (2014): Water quality standards for uranium. Proposal for new standards according to the Water Framework Directive. RIVM-rapport 270006003. RIVM, Bilthoven.

[3] WHO (2004): Uranium in drinking-water. Background document for development of WHO *Guidelines for Drinking-water Quality*. WHO/SDE/WSH/03.04/118. WHO, Genève.

[4] Bjørklund, G., Semenova, J., Pivina, L., Dadar, M., Rahman, M.M., Aaseth, J., Chirumbolo, S. (2020): Uranium in drinking water: a public health threat. *Archiv Toxicology* 94: 1551-1560.

[5] World Health Organization (2017): *Guidelines for drinking-water quality*; Fourth edition incorporating the first addendum. WHO, Genève.

● Verdovende middelen ('Drugs')

Grondslag norm: indicator

Drinkwaterbesluit 2011: maximum waarde 1 µg/l ('Overige antropogene stoffen')

WHO: geen richtwaarde

EG-Drinkwaterrichtlijn 1998: geen

voorlopige richtwaarden RIVM: zie tabel

Introductie

Verdovende middelen (in de volksmond 'drugs' genoemd) en barbituraten zijn stoffen die binnen de Opiumwet vallen [1]. De Opiumwet is een Nederlandse wet waarin sinds 1976 onderscheid wordt gemaakt in *harddrugs* (lijst I, artikel 2 en 10) en *softdrugs* (lijst II, artikel 3 en 11). Onder harddrugs vallen bijvoorbeeld: amfetamine of speed, cocaïne, ecstasy/MDMA/XTC, GHB, heroïne (of opium) en LSD. Met softdrugs wordt meestal marihuana (of wiet) en hasj bedoeld, maar volgens de wetgeving vallen ook barbituraten, benzodiazepinen en andere slaapverwekkende en kalmerende middelen hieronder, alsmede een groot aantal hallucinogene paddenstoelen (paddo's).

Al deze stoffen beïnvloeden het bewustzijn van de mens, kunnen schadelijk zijn voor de gezondheid en kunnen leiden tot verslaving. Sommige in de Opiumwet opgenomen middelen (bijvoorbeeld barbituraten en benzodiazepinen) zijn eigenlijk geneesmiddelen die op recept verkrijgbaar zijn. Voor geneesmiddelen bestaat een aparte factsheet in de Wegwijzer Waterkwaliteit. Deze middelen kennen vaak geen illegaal circuit, terwijl een ander deel van de middelen uitsluitend illegaal wordt gebruikt. In de volksmond worden die laatste middelen aangeduid als 'drugs'. In het Engels heten ze 'drugs of abuse', verdovende middelen die worden misbruikt.

Drugs zijn in een aantal typen te onderscheiden: synthetische drugs zoals MDMA (in tabletvorm ecstasy of XTC genoemd), amfetamine (ook wel speed genoemd), methamfetamine als zout (onder andere crystal meth) en zogenaamde drugs van plantaardige oorsprong zoals cocaïne, heroïne en cannabis (actieve stof THC (tetrahydrocannabinol) in marihuana en hasj). Deze drugs hebben met elkaar gemeen dat er totaal geen zicht is op de hoeveelheden die worden geproduceerd en geconsumeerd. Bovendien is het zonder toestemming in bezit hebben of produceren van alle middelen onder de Opiumwet in principe illegaal. Die illegaliteit zorgt ervoor dat de samenleving met inbegrip van de watercyclus daarvan hinder kan ondervinden. De controle op THC als stof wordt over de gehele wereld steeds minder, aangezien er steeds meer bekend wordt over de medicinale eigenschappen. Het gebruik van wiet en hasj wordt al jaren gedoogd en kon in Nederland als eerste land als niet-geregistreerd gebruik op doktersrecept worden verkregen (medicinale wiet of mediwiet). Synthetische THC (dronabinol) wordt verkocht als palliatief medicijn in pilvorm onder de naam Marinol. Stoffen voor (legale) slaapmiddelen en pijnstillers (inclusief opiaten) zijn slechts toegelaten voor medische toepassingen.

Herkomst

Emissie van drugs in de waterketen gebeurt voornamelijk door menselijk gebruik. Drugs en afbraakproducten daarvan worden na gebruik door het menselijk lichaam via urine of feces [2] uitgescheiden en komen in het riool terecht. Tevens kunnen ongebruikte drugs in het riool belanden als die bijvoorbeeld bij een politie-inval door het toilet worden gespoeld [3]. In RWZI's worden drugs slechts gedeeltelijk verwijderd [4, 5], de rest komt in het oppervlaktewater terecht [4].

De productie en verwerking van synthetische drugs levert relatief veel chemisch afval op. Dit afval bevat naast sporen van de geproduceerde drugs ook grondstoffen, tussenproducten, onzuiverheden en diverse reagentia [6]. Criminelen ontdoen zich van het afval op veel verschillende manieren [7], die in twee categorieën kunnen worden verdeeld: dumpingen en lozingen [6]. Het dumpen van drugsafval in de openbare ruimte komt nog vaak voor in Nederland. Opvallend was dat er in 2019 ten opzichte van 2018 een daling van het aantal dumpingen was te zien van 292 naar 191 locaties, terwijl het aantal gevonden productie- en opslaglocaties min of meer gelijk was gebleven [8]. Het is nog onduidelijk of er daardoor ook meer werd geloosd in het milieu, maar dat lijkt onwaarschijnlijk. Gedumpt afval kan in de bodem trekken en doordringen tot het grondwater of via watergangen in het oppervlaktewater belanden. Aangezien het om persistente stoffen gaat (bijvoorbeeld MDMA), vormen die een bedreiging voor (de bronnen voor) drinkwater [9].

Het vermoeden bestaat dat lozingen op het riool steeds vaker voorkomen, omdat lozen minder opzichtig is dan dumpen in de openbare ruimte [7]. De productie van één kilo synthetische drugs levert circa twintig kilo drugsafval op. Vooral de zuren en oplosmiddelen in het drugsafval kunnen rioolleidingen aantasten of dodelijk zijn voor bacteriën die worden ingezet om rioolwater te zuiveren in RWZI's [6]. Dit heeft tot gevolg dat het effluent van die installaties (tijdelijk) ongezuiverd in het oppervlaktewater terecht komt. Afhankelijk van de omvang hebben zulke illegale lozingen via het riool dus tijdelijk (grote) invloed op de kwaliteit van het water. Hoe vaak dit voorkomt, is (nog) niet goed onderzocht.

Blootstellingsroutes

Onder normale omstandigheden is er voor mensen sprake van een verwaarloosbare blootstelling aan drugs. De voornaamste route is via medicijnen of drugsgebruik. Via het drinkwater vindt er geen blootstelling plaats.

Gezondheidskundige betekenis

De concentraties aan drugs die worden aangetroffen in oppervlaktewater vallen in alle gevallen minimaal een factor 100 onder de door het RIVM vastgestelde voorlopige richtwaarden voor drinkwater [4]. Gezien het niveau van de gemeten concentraties en de effecten van de zuiveringsprocessen bij de bereiding van drinkwater is het uit te sluiten dat blootstelling aan drugs via het drinkwater impact heeft op de gezondheid.

Tabel 1 Indicatieve richtwaarden verschillende verdovende middelen, overgenomen uit [4].

Stof	Indicatieve drinkwater richtwaarde (µg/l)
benzoylecgonine	20
cocaïne	20
MDMA	50
metamfetamine	15
codeïne	30
morphine -	15
methadon	10
oxazepam	Som oxazepam + temazepam = 8
temazepam	
pentobarbital	Som pentobarbital + phenobarbital + barbital = 50
phenobarbital	
barbital	

Normen en richtlijnen verklaard

Drugs vallen onder de 'Overige antropogene stoffen', waarvoor de signaleringswaarde geldt. De voorlopige RIVM-richtwaarden kennen geen verdere (wettelijke) status [4].

Aanwezigheid in drinkwater(bronnen) en monitoring

De eerste Nederlandse meetcampagne voor drugs en kalmeringsmiddelen in rioolwater, oppervlaktewater en drinkwater werd uitgevoerd in 2009 [4]. De drugs MDMA, cocaïne en amfetaminen werden in het ruwe water (grondstof voor drinkwater) gevonden in concentraties rond de 0,001 – 0,003 µg/l [4]. In het onderzochte drinkwater zijn deze stoffen niet aangetroffen. Wel werden bij enkele zuiveringen drie barbituraten (kalmeringsmiddelen) op het niveau van nanogrammen in het drinkwater aangetroffen. Dit betreft drinkwater geproduceerd uit oud oppervlaktewater (oeverfilteraat of opgepompt polderwater). De meeste barbituraten worden al jarenlang niet meer gebruikt.

In het water van de Maas bij Keizersveer werd in 2010 en 2018 drugs gemeten (RIWA): 0,005 µg/l respectievelijk 0,032 µg/l MDMA. De stof THC-COOH (metabooliet van cannabis) werd in 2010 gemeten onder de rapportagegrens. Benzoylecgonine (metabooliet van cocaïne) werd in drinkwater aangetroffen, maar lager dan de rapportagegrens.

In een KWR-onderzoek uit 2009 werden naast benzoylecgonine ook drie barbituraten aangetroffen in drinkwater in concentraties van 0,009 – 0,027 µg/l [2]. Voor drinkwater en grondwater zijn geen waarden gerapporteerd (REWAB) en daarin is door drinkwaterbedrijven niets boven de rapportagegrens aangetroffen.

Momenteel wordt niet structureel gemeten of er drugs en/of barbituraten aanwezig zijn in oppervlaktewater of grondwater als bronnen voor drinkwater en/of in het daaruit bereide drinkwater. KWR Water Research Institute meet jaarlijks drugsresten in het influent van RWZI's in Utrecht, Eindhoven en Amsterdam. Tevens worden incidenteel drugs in het influent van andere RWZI's gemeten. Deze metingen worden uitgevoerd om het drugsgebruik in een gemeente of regio in kaart te brengen en niet zozeer om emissies naar de waterketen in te schatten.

Pieklozingen door drugsafval in een RWZI zouden wel een mogelijk ecologisch risico kunnen zijn [9], vooral door de hoge 24-uurs-piekconcentraties die zijn gemeten tot 435 µg/l MDMA. Informatie over de milieugevaarlijkheid ontbreekt vooralsnog.

Zuivering

In een studie van het RIVM in samenwerking met KWR Water Research Institute en de Universiteit van Castellion (Spanje) in 2009 [4] werd geconstateerd dat alle gemeten drugs (met uitzondering van de metabooliet van cocaïne (benzoylecgonine)) na de zuivering van rioolwater nog steeds in het water aanwezig waren. In 2010 heeft KWR deze resultaten bevestigd voor de Nederlandse situatie [5]. Voornamelijk benzodiazepinen en MDMA werden nauwelijks tot niet verwijderd. Amfetamine en benzoylecgonine worden gemiddeld voor meer dan 70% verwijderd.

Het onderzoek in 2009 [4] heeft laten zien dat technieken die in Nederland bij de bereiding van drinkwater worden ingezet voor de verwijdering van microverontreinigingen uit oppervlaktewater als grondstof, voldoende effectief zijn voor drugs, met uitzondering van de barbituraten waarvan uitsluitend phenobarbital nog wordt gebruikt.

Referenties

- [1] Wettenbank, Overheid.nl, Opiumwet, <https://wetten.overheid.nl/BWBR0001941/2020-01-01>
- [2] Voogt, P. de, Emke, E., Helmus, R., Panteliadis, P., Leerdam, J. A. van (2011): 'Determination of Illicit Drugs in the Water Cycle by LC–Orbitrap MS', in Illicit Drugs in the Environment, Castiglioni, S.; Zuccato, E.; Fanelli, R., Eds. John Wiley & Sons, Inc., pages 87 – 114.
- [3] Emke, E., Evans, S., Kasprzyk-Hordern, B.; Voogt, P. de (2014): 'Enantiomer profiling of high loads of amphetamine and MDMA in communal sewage; A Dutch perspective', Science of the Total Environment, 487, (1), 666 – 672.

- [4] RIVM (2010): 'Drugs of abuse and tranquilizers in Dutch surface waters, drinking water and wastewater; Results of screening monitoring 2009', RIVM Report 703719064/2010.
<https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/703719064.pdf>
- [5] Bijlsma, L., Emke, E., Hernández, F., Voogt, P. de (2012): 'Investigation of drugs of abuse and relevant metabolites in Dutch sewage water by liquid chromatography coupled to high resolution mass spectrometry', Chemosphere, 89, (11), pages 1399 – 1406.
- [6] Emke, E., Vughs, D., Kolkman, A., Voogt, P. de (2018): 'Wastewater-based epidemiology generated forensic information: Amphetamine synthesis waste and its impact on a small sewage treatment plant', Forensic Science International, 286, e1 – e7.
- [7] Schoenmakers, Y., Mehlbaum, S., Everartz, M., Poelarends, C. (2016): 'Elke dump is een plaats delict', Apeldoorn.
- [8] Rapportage op basis van de ERISPP (European Reporting on Illicit Synthetic Substance Production sites) criteria.
<https://www.politie.nl/binaries/content/assets/politie/nieuws/2020/erissp-landelijk-overzicht-synthetische-drugs-2019-definitief.pdf>
- [9] Pronk, T.E. (2019): 'Modellering van de verspreiding van MDMA drugsafvallozingen via het riool met de KRW-Verkenner', rapport BTO 2019.059, KWR Water Research Institute, Nieuwegein.
- [10] Smit, C.E. (2015): 'Effecten van drugs op het waterecosysteem; Verkenning van de ecologische risico's van 10 stoffen', Briefrapport 2015-0129, RIVM, Bilthoven.
<https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2015-0129.pdf>

concentration detected. For the other substances, the provisional drinking water limit is more than 100 times higher.

Table 3.5. Comparison of provisional drinking water limits^a with the detected maximum concentrations in STP effluent, surface water, raw water and finished drinking water.

	Provisional drinking water limit (µg/L)	WWTP effluent		Surface water Rhine / Meuse		Raw water		Finished drinking water	
		Max conc (µg/L)	risk ratio *	Max conc (µg/L)	risk ratio *	Max conc (µg/L)	risk ratio *	Max conc (µg/L)	risk ratio *
benzylecgonine	20	0.089	225	0.016	1250	0.003	6667	-	-
cocaine	20	0.014	1429	0.003	6667	-	-	-	-
MDMA	50	0.69	72	0.002	25000	-	-	-	-
metamphetamine	15	0.096	156	0.001	15000	-	-	-	-
codeine	30	0.378	79	0.023	1304	-	-	-	-
morphine	15	0.068	221	0.007	2143	-	-	-	-
methadon	10	0.057	175	0.002	5000	-	-	-	-
oxazepam	sum 8	1.746	3	0.068	80	0.013	348	-	0.006
temazepam		1.016		0.032		0.01		-	
pentobarbital		0.025		0.004		0.01		-	
phenobarbital	sum 50	0.191	217	0.027	1163	0.027	1000	0.012	sum 0.027
barbital		0.015		0.012		0.013		0.009	

^a for derivation, see Appendix H

* risk ratio: ratio of provisional drinking water limit to maximum concentration

● Vinylchloride

Grondslag norm: gezondheidkundig

Drinkwaterbesluit 2011: maximum waarde 0,1 µg/l

(Opmerking: Deze parameterwaarde heeft betrekking op de residuele monomeerconcentratie in het water, berekend aan de hand van specificaties inzake de maximum migratie van de overeenkomstige polymeer in contact met water, of betreft een feitelijk gemeten waarde).

WHO 2022: richtwaarde 0,3 µg/l

EU Drinkwaterrichtlijn 2020: parameterwaarde 0,5 µg/l

(Opmerking: Deze parameterwaarde van 0,50 µg/l heeft betrekking op de residuele monomeerconcentratie in het water, berekend aan de hand van specificaties inzake de maximumvrijkoming van de overeenkomstige polymeer in contact met water).

Herkomst

Vinylchloride of chlooretheen (IUPAC-naam) is een gechloreerde organische stof, met de bruto molecuulformule C_2H_3Cl . De stof komt voor als een kleurloos gas (zwaarder dan lucht), dat met moeite oplosbaar is in water. Vinylchloride is het monomeer voor de vervaardiging van het materiaal polyvinylchloride (PVC), dat op relatief grote schaal wordt toegepast bij de productie en distributie van drinkwater [1]. In sommige landen wordt steeds meer 'ongeplastificeerd', 'niet-geplastificeerd' of 'hard' PVC (hierin worden geen weekmakers (ftalaten) toegepast) gebruikt voor de watervoorziening. Migratie van residueel monomeer uit PVC is een mogelijke bron van vinylchloride in drinkwater [2]. Vanwege de hoge vluchtigheid is vinylchloride zelden aangetroffen in oppervlaktewater, behalve in vervuilde gebieden. Vinylchloride is in het grondwater gerapporteerd als een afbraakproduct van de gechloreerde oplosmiddelen trichlooretheen en tetrachlooretheen als bodemverontreiniging [2].

Blootstellingsroutes

Omdat vinylchloride slecht oplosbaar is in water is inademing de belangrijkste route voor de inname van vinylchloride [4]. Blootstelling aan vinylchloride vindt voornamelijk plaats in fabrieken waar vinylchloride en PVC worden geproduceerd met inbegrip van verwerkingsfabrieken voor PVC (inclusief verpakken, opslag en bewerken van vinylchloride). Arbeidsblootstelling komt dus voor in verschillende industrietakken, waaronder de productie-industrie van chemicaliën, plastic producten, gefabriceerde metalen producten en machines. Blootstelling komt ook voor in beroepen of diensten in de transport en bouw [5].

Vinylchloride is ook een afbraakproduct van oplosmiddelen tetra- en trichlooretheen, en wordt aangetroffen in grondwater op verontreinigde locaties. Vinylchloride blijft zelden in binnenlucht te worden aangetoond [8, 9].

Gezondheidkundige betekenis

Er is voldoende bewijs dat vinylchloride kankerverwekkend is voor de mens. De IARC heeft vinylchloride daarom ingedeeld in klasse 1, stoffen die carcinogeen zijn voor de mens [3].

Vinylchloride staat ook op de lijst Zeer Zorgwekkende Stoffen (ZZS) van RIVM [6].

Acute blootstelling aan vinylchloride kan leiden tot symptomen als zwakte, duizeligheid, vermoeidheid, gewichtsverlies, gevoelloosheid en tintelingen van de ledematen, visuele stoornissen en in ernstige gevallen tot coma en overlijden. Blootstelling kan ook irritatie aan de ogen, de huid, de slijmvliezen en de luchtwegen veroorzaken. Bij lage blootstellingsniveaus is het lichaam in staat vinylchloride te metaboliseren en uit te scheiden in de urine. Chronische blootstelling kan echter permanent leverletsel en leverkanker veroorzaken maar ook leiden tot neurologische of gedragssymptomen en veranderingen in de huid en botten van de hand. De latentietijd tussen het

eerste moment van blootstelling en aan vinylchloride gerelateerde kanker varieert sterk tussen de verschillende typen kanker [5].

Normen en richtlijnen verklaard

De WHO heeft berekend dat een concentratie vinylchloride in drinkwater van 0,5 µg/l geassocieerd is met een bovengrens van het risico op levertumoren van 10^{-5} (1 extra kanker geval per 100.000 mensen) bij levenslange blootstelling vanaf de volwassenheid. Omdat er onzekerheid bestaat over mogelijke extra gevoeligheid tijdens vroege blootstelling wordt uitgegaan van een dubbel risico bij levenslange blootstelling. Dit resulteert in een richtwaarde van 0,3 µg/l (afgerond)[4].

Nederland hanteert een strenger individueel verwaarloosbaar risiconiveau dan de WHO, namelijk 10^{-6} (1 extra kanker geval per 1000.000 mensen) (7), waardoor de norm in het Drinkwaterbesluit strenger uitpakt: 0,1 µg/l.

Aanwezigheid in drinkwater(bronnen) en monitoring

De parameter vinylchloride behoeft volgens het Drinkwaterbesluit niet in drinkwater te worden bepaald (zie aanhef van deze factsheet). In aansluiting op de opmerking bij de parameter vinylchloride in Bijlage A van het Drinkwaterbesluit is in Bijlage 4 van de Drinkwaterregeling nog het volgende opgenomen: *‘Acrylamide, epichloorhydrine en vinylchloride worden gecontroleerd door middel van productspecificatie (parameters opgenomen in de [Regeling materialen en chemicaliën drink- en warm tapwatervoorziening](#)).’*

Vinylchloride houdt vooral verband met de toepassing van PVC producten in met name het leidingnet en die parameter wordt uitsluitend gecontroleerd door middel van productspecificatie. Dat wil zeggen dat de parameter niet periodiek wordt gemeten in (bronnen voor) drinkwater, maar onderdeel uitmaakt van de (vertrouwelijke) productspecificatie in het kader van de ‘erkende kwaliteitsverklaring’ volgens de ministeriële Regeling materialen en chemicaliën drink- en warm tapwatervoorziening. Het gaat daarbij om berekeningen ten aanzien van de concentratie in drinkwater in een ‘realistic worst case’ situatie op basis van het residueel gehalte vinylchloride in de grondstof (PVC-poeder) als gevolg van migratie uit de wand van een buis of hulpstuk. Een product is toelaatbaar en komt in aanmerking voor een erkende kwaliteitsverklaring als uit dergelijke berekeningen blijkt dat de maximum waarde van 0,1 µg/l volgens het Drinkwaterbesluit niet wordt overschreden. Ook feitelijke metingen (in migratiewater) zijn daarbij toegestaan.

Ondanks het feit dat daarvoor geen meetverplichting is, is/wordt de parameter vinylchloride soms toch gemeten. Tussen 2015 en 2020 is vinylchloride in 0,7% van de meetlocaties aangetroffen na de laatste zuiveringsstap. Dit percentage daalt met de jaren. De rapportagegrens varieert tussen 0,05 – 0,10 µg/l. De mediaanconcentratie ligt op de rapportagegrens van 0,10 µg/l. De gemeten hoogste waarde daalt tussen 2015 en 2020 van 0,24 µg/l naar 0,05 µg/l.

In de ILT-rapportages over drinkwaterkwaliteit in 2015 worden twintig overschrijdingen genoemd en staat het volgende als duiding: *‘Over twee locaties waar sprake is van bodemverontreiniging (normoverschrijding vinylchloride) overleggen de betreffende drinkwaterbedrijven met de provincie over de sanering hiervan’*. In de rapportage over 2016 staan nog zeven overschrijdingen en in die over 2017 nog een, waarna deze parameter niet meer wordt vermeld staat (over de jaren 2018 – 2021).

Zuivering

Dit onderdeel is niet van toepassing.

Referenties

[1] <https://nl.wikipedia.org/wiki/Vinylchloride>

[2] WHO (2022): ‘Guidelines for drinking-water quality; Fourth edition incorporating the first and second addenda’, WHO, Geneva.
[9789240045064-eng \(2\).pdf](#)

[3] <https://nl.wikipedia.org/wiki/Polyvinylchloride>

- [4] WHO (2004): 'Vinylchloride in Drinking-water; Background document for development of WHO *Guidelines for Drinking-water Quality*', WHO/SDE/WSH/03.04/119, WHO, Geneva.
[Microsoft Word - Vinyl Chloride.doc \(who.int\)](#)
- [5] <https://roadmaponcarcinogens.eu/nl/facts/vinylchloride/>
- [6] <https://rvszoeksysteem.rivm.nl/stof/detail/1324>
- [7] Dijk-Looijaard, A.M. van (1993): 'Herziening Normen Waterleidingbesluit', rapport SWO 92.294, KIWA Onderzoek en Advies, Nieuwegein.
- [8] [Risicobeoordeling van vinylchloride : Probleemverkenning uitdampingsrisico's uit grond en grondwater | RIVM](#)
- [9] [Advies meten van vinylchloride in bodem- en binnenlucht \(rivm.nl\)](#)

• Virussen

Grondslag norm: gezondheidskundig

Drinkwaterbesluit 2011: voorlopige grenswaarde bij gebruik van oppervlaktewater: één infectie per 10.000 personen per jaar, te bepalen door het opstellen van een risicoanalyse en het daaruit berekende theoretische infectierisico (dit is beschreven in het richtsnoer AMVD (Analyse Microbiologische Veiligheid Drinkwater [29]))

WHO 2022: geen richtwaarde

Europese Drinkwaterrichtlijn 2020: somatische colifagen in het ruwe water referentiewaarde 50 pve/100 ml (plaquevormende eenheden)

Herkomst

Een virus is een klein stukje organisch materiaal dat zich uitsluitend kan vermenigvuldigen in cellen van levende wezens. Virussen hebben een relatief eenvoudige structuur. Een individueel virusdeeltje bevat aan de binnenzijde het genetisch materiaal dat uit DNA of RNA bestaat. Dit materiaal wordt beschermd door een eiwitmantel, de capside. In sommige gevallen wordt dit geheel omhuld met een vetmantel (envelop) (1). De wateroverdraagbare virussen zijn over het algemeen klein (30 nm, uitzonderingen daargelaten) hebben geen envelop om hun capside en zijn goed bestand tegen variaties in de watertemperatuur en zuurgraad (2, 28).

Virussen die via water kunnen worden overgedragen, behoren veelal tot de enterale virussen (= darmvirussen), die worden uitgescheiden in de menselijke ontlasting. Het betreft een grote diverse groep van veel verschillende soorten virussen. In het Drinkwaterbesluit is sprake van de wat onduidelijke term '(entero)virussen'. Het doel van de haakjes om 'entero' in '(entero)virussen' is om aan te geven dat mogelijk andere virusgroepen die kritisch zijn voor de drinkwatervoorziening ook onder het Drinkwaterbesluit vallen (29). In principe moeten enterovirussen worden gemeten, al is in de verdere uitwerking van het Drinkwaterbesluit opgenomen dat in individuele gevallen een uitzondering kan worden gemaakt, bijvoorbeeld door adenovirussen te meten bij UV-desinfectie in plaats van enterovirus (29).

In Tabel 1 is aangegeven welke pathogene virussen relevant zijn voor drinkwater.

Tabel 1 Informatie over pathogene virussen die relevant zijn voor drinkwater (daarbij is ook aangegeven wat de mogelijke gezondheidskundige gevolgen kunnen zijn van infectie met een van deze virussen).

Familie	Geslacht	Virussen, o.a.	Mogelijke gezondheidskundige gevolgen ²	Meer informatie
<i>Picornaviridae</i>	<i>Enterovirus</i>	<i>Poliovirus</i>	<i>Hersenvliesontsteking, kinderverlamming</i>	4, 28
		<i>Coxsackievirus, Echovirus</i>	<i>Hartspierontsteking, hersenvliesontsteking</i>	4, 28
		<i>Parechovirus</i>	<i>Gastro-enteritis¹, hersenvliesontsteking, bloedvergiftiging</i>	4, 11, 25, 28
		<i>(humaan) enterovirus</i>	<i>Gastro-enteritis¹, hersenvliesontsteking</i>	2, 4, 6, 28
	<i>Hepatovirus</i>	<i>Hepatitis A virus</i>	<i>Geelzucht</i>	28
<i>Reoviridae</i>	<i>Reovirus</i>	<i>Reovirus</i>	<i>Hersenvliesontsteking</i>	28
	<i>Sedoreovirinae</i>	<i>Rotavirus</i>	<i>Gastro-enteritis¹</i>	2, 4, 28
<i>Caliciviridae</i>	<i>Sapovirus</i>	<i>Sapporo virus</i>	<i>Gastro-enteritis¹</i>	28

	<i>Norovirus</i>	<i>Norovirus genotype I en II</i>	<i>Gastro-enteritis¹</i>	2, 6, 14, 28
<i>Adenoviridae</i>	<i>Mastadenovirus</i>	<i>Humaan adenovirus-40/41</i>	<i>Gastro-enteritis¹, oog- of keelontsteking, pneumonie</i>	4, 7, 28
<i>Hepeviridae</i>	<i>Orthohepevirus</i>	<i>Hepatitis E virus</i>	<i>Geelzucht</i>	28

¹ Gastro-enteritis: onder andere diarree, braken en koorts.

² In deze tabel worden de mogelijke gezondheidskundige gevolgen beschreven. Klachten kunnen echter variëren van zeer mild tot zeer ernstig. De ernstigere klachten zoals hersenvliesontsteking, kinderverlamming en bloedvergiftiging komen slechts zeer zelden voor. Het zijn echter wel mogelijke ziektebeelden.

Water kan besmet raken met pathogene virussen doordat ontlasting van geïnfecteerde individuen (al dan niet met ziekteverschijnselen) daarin terecht komt. Dat kan via verschillende routes. Zo kunnen lozingen van rioolwaterzuiveringsinstallaties leiden tot verhoogde virusbelasting van oppervlaktewater, omdat de rioolwaterzuiveringen niet zijn ingericht voor virusverwijdering. De zuiveringsefficiëntie van rioolwaterzuiveringsprocessen is voor virussen niet hoog en varieert van een verwijdering tot een 10 – 100 keer lagere virusconcentratie (4). Ook lozingen van ongezuiverd afvalwater (bijvoorbeeld door riooloverstorten en buitenlandse (ongezuiverde) rioolwaterlozingen) kunnen bijdragen aan de virusbelasting van het oppervlaktewater. De jaarlijkse vracht aan enterovirussen die in 1997 – 1998 via de Rijn en Maas Nederland bereikte bedroeg $5,8 - 7,6 \cdot 10^{12}$ enterovirussen en $0,12 - 1,1 \cdot 10^{14}$ reovirussen (5). Jaarlijks lozen rioolwaterzuiveringsinstallaties in Nederland ongeveer 1.900 miljoen m³ gezuiverd effluent op het oppervlaktewater en nog eens ongeveer 20 miljoen m³ ongezuiverd rioolwater vanuit overstorten en foute aansluitingen (6). De concentraties rotavirus in ongezuiverd rioolwater variëren van 50 tot 5.000 virusdeeltjes per liter en voor enterovirussen van 1 tot 1.000 per liter (2). Andere bronnen voor virusbesmettingen zijn lozingen van ongezuiverd rioolwater door de beroepsvaart, de pleziervaart en woonboten. Directe fecale besmettingen kunnen ook optreden door ‘accidental fecal releases’ van geïnfecteerde waterrecreanten en watersporters (6, 7). Dat zulke voorvallen van belang zijn voor de gezondheidsrisico's blijkt uit het gegeven dat het aantal uitgescheiden virusdeeltjes per gram feces enorm kan zijn. Per gram feces kunnen 10^9 rotavirussen en 10^6 enterovirussen worden uitgescheiden (2, 6). Dat van sommige virussoorten slechts enkele virusdeeltjes al een infectie kunnen veroorzaken (6), benadrukt het belang van zulke voorvallen.

Een andere besmettingsbron van oppervlaktewater is afspoeling van mest (5). De meeste enterale virussen die mensen kunnen infecteren, worden echter niet door dieren uitgescheiden omdat veel virussen een soort-specifieke gastheer nodig hebben om zich in te kunnen vermenigvuldigen (2). Er zijn echter enkele uitzonderingen. Norovirusstammen die gevonden zijn bij varkens lijken meer op norovirusstammen gevonden bij mensen dan bij runderen. Ook hepatitis E-virus (HEV) stammen uit varkens bleken nauw verwant te zijn aan HEV van geïnfecteerde personen. Daarnaast kan HEV ook voorkomen in wilde zwijnen en herten. (6, 7). Avian influenzavirussen (AIV) uit kippenmest en uitwerpselen van watervogels kunnen ook in het oppervlaktewater terechtkomen en zo voor verontreiniging van het water zorgen (6).

Blootstellingsroutes

Via recreatie en met name door te zwemmen in oppervlaktewater of het spelen op waterspeelplaatsen kunnen mensen worden blootgesteld aan water dat is verontreinigd met enterale virussen (6 – 11). In zwembaden met chloor-gedesinfecteerd zwemwater zal de blootstelling klein zijn, tenzij er ‘accidental fecal releases’ plaatsvinden en/of de chloordesinfectie niet goed functioneert.

De blootstelling aan virussen via drinkwater is te verwaarlozen, ervan uitgaande dat het infectierisico minder is dan 1 infectie per 10.000 inwoners per jaar. Virussen kunnen in drinkwater terechtkomen als de zuivering niet voldoet door bijvoorbeeld een gecompromitteerde integriteit van membraanzuivering, piekbelasting van de zuivering of een kwetsbare grondwaterwinning. Al worden dit soort scenario's meegenomen in de risicoschattingen die door drinkwaterbedrijven worden uitgevoerd, is de kans op infectie door drinkwater zeer klein (1 infectie per 10.000 inwoners per jaar). Andere mogelijkheden voor introductie van virussen in drinkwater zijn

bijvoorbeeld drukverlies in het leidingnet waarbij grondwater of oppervlaktewater in een drinkwaterleiding terecht kan komen. Ook dit komt zeer weinig voor.

Water kan een rol spelen in de verspreiding van niet-watergerelateerde virussen. Zo bestaat de (theoretische) mogelijkheid dat luchtwegvirussen via de ontlasting in het water terechtkomen en dan via waterdruppels of aerosolen van bijvoorbeeld buitendouches mensen besmetten. Een andere mogelijkheid is dat virussen worden uitgescheiden in de urine (zoals de polyomavirussen), het water verontreinigen en dan mensen blootstellen met mogelijke lange-termijn gezondheidseffecten als gevolg (2).

Gezondheidkundige betekenis

Virussen kunnen in lage concentraties nog infectieus zijn. Zo is de infectieuze dosis (het aantal virusdeeltjes dat nodig is om een infectie te veroorzaken) van noro- en rotavirussen slechts 1 – 10 virusdeeltjes, maar is dat voor andere virussoorten hoger (6, 30). Belangrijk hierbij is dat een infectie niet tot ziekteverschijnselen hoeft te leiden; de infectie kan ook asymptomatisch verlopen. De meeste van de virussen die via water kunnen worden overgedragen, kunnen bij de mens gastro-enteritis veroorzaken met diarree, braken en koorts tot gevolg. In Tabel 1 is per virus aangegeven welke ziekteverschijnselen deze kunnen veroorzaken. Wereldwijd gezien zijn rotavirussen de belangrijkste oorzaak van virale gastro-enteritis: 50 – 60% van de gastro-enteritis gevallen van in ziekenhuizen opgenomen kinderen in de wereld wordt veroorzaakt door rotavirussen (2). De ziektelast van een rotavirus-infectie kan extreem hoog zijn en het is de belangrijkste een-op-een oorzaak van kindersterfte in de wereld (2). Andere wateroverdraagbare virussen veroorzaken nog ernstigere klachten zoals kinderverlamming als gevolg van een infectie met het poliovirus, geelzucht, hersenvliesontsteking, oog- of keelontsteking of een ziektebeeld van bloedvergifting (Tabel 1).

Normen en richtlijnen verklaard

In het Drinkwaterbesluit is opgenomen dat micro-organismen niet in een zodanige concentratie in het drinkwater mogen voorkomen dat er nadelige gevolgen voor de volksgezondheid kunnen ontstaan. Voor bepaalde micro-organismen waaronder virussen en protozoa, is het niet mogelijk om concentraties te meten op het lage niveau waarop blootstelling relevant is voor de gezondheid van de gebruiker. In plaats daarvan dient een kwantitatieve risicoanalyse (AMVD, Analyse Microbiologische Veiligheid Drinkwater) te worden opgesteld op basis van metingen in het ruwwater en gegevens over de verwijderingscapaciteit van de zuivering. Dit is beschreven in het Richtsnoer AMVD (29). Hieruit kan een theoretisch infectierisico worden berekend, waarvoor een voorlopige grenswaarde geldt van maximaal 1 infectie per 10.000 personen per jaar. Omdat niet alle pathogenen kunnen worden gemeten, dient de risicoanalyse te worden uitgevoerd voor de zogenaamde indexpathogenen. Als de zuivering in staat is de indexpathogenen voldoende te verwijderen, voldoet het drinkwater aan de grenswaarde. Voor virussen zijn de enterovirussen het indexpathogeen. Het is echter gebleken dat adenovirussen in veel grotere dichtheden kunnen voorkomen in oppervlaktewater dan andere enterale virussen (12) en bovendien zijn die minder gevoelig voor desinfectie met UV en chloor dan enterovirussen (13). Daardoor kan ook voor adenovirussen een AMVD worden gevraagd door ILT. Dit is vooral van toepassing als adenovirussen in hoge aantallen voorkomen in de bron en/of als de verwijderingscapaciteit van de zuivering voor een groot deel wordt bepaald door desinfectie met UV en/of chloordioxide (20, 29).

Volgens de Europese Drinkwaterrichtlijn moet een risicobeoordeling van het watervoorzieningssysteem vanaf het onttrekkingsgebied, over de behandeling en de opslag tot en met de distributie worden opgesteld, dat de basis vormt van het monitoringsprogramma. Dit bevat ook de monitoring van de parameter 'somatische colifagen'¹. Deze parameter moet worden gemeten als de risicobeoordeling aangeeft dat dit passend is. Als deze parameter in onbehandeld water wordt aangetroffen in een concentratie > 50 pve/100 ml dan moet de verwijderingscapaciteit van de verschillende zuiveringsstappen voor somatische colifagen worden geanalyseerd om te beoordelen of het risico op doorbraak van pathogene virussen voldoende wordt beheerst.

De WHO heeft geconcludeerd dat er onvoldoende data zijn om richtlijnen af te leiden voor alle pathogene virussen en heeft daarom besloten om referentie pathogene virussen te benoemen waarvoor een kwantitatieve microbiologische risicoanalyse (AMVD of QMRA: Quantitative Microbial Risk Assessment) kan worden uitgevoerd. Dit betreft de rotavirussen, enterovirussen en de norovirussen (2).

Aanwezigheid in drinkwater(bronnen) en monitoring

Analysemethoden

Tot 2000 konden uitsluitend entero- en reovirussen worden aangetoond met celkweken van groot-volume-monsters (100 – 1.000 l), omdat bepaalde cellijnen (cellen van zoogdieren die kunnen worden gekweekt) gevoelig zijn voor deze virussen (3, 26). Sinds 2000 is er een moleculaire methode beschikbaar om virussen waarvoor geen gevoelige cellijnen beschikbaar waren (zoals rota- en norovirussen) aan te kunnen tonen (3, 27). Celkweekmethoden hebben de voorkeur bij het aantonen van wateroverdraagbare ziekteverwekkende virussen, omdat dit informatie oplevert over hoe infectieus de virussen zijn. Als virussen langer aanwezig zijn in het water of worden onderworpen aan zuiveringsprocessen zoals UV-desinfectie, blijft het RNA of DNA nog een tijd intact, terwijl hun vermogen om cellen te infecteren en zo een infectie en mogelijk gezondheidsklachten te veroorzaken, afneemt. Voor de niet-kweekbare virussen betekent dit dat een aanname of schatting moet worden gedaan over het aandeel infectieuze virussen van de met bijvoorbeeld qPCR (moleculaire methode waarmee DNA of RNA wordt gemeten) aangetoonde virusdeeltjes (6). Ook bestaan er gecombineerde celkweek-PCR-methoden, zoals die waarmee infectieuze rotavirussen (15) en adenovirussen werden aangetoond in Nederlands oppervlaktewater.

Concentratie in drinkwaterbronnen

Virusconcentraties in het oppervlaktewater zijn in het algemeen in de winter hoger dan in de zomer door een langzamere aantasting van de virussen bij lage temperaturen (16, 17, 18). In Tabel 2 is een aantal voorbeelden van virusconcentraties in oppervlaktewateren gegeven. Over het algemeen zijn de concentraties norovirus hoger dan de andere enterovirussen al wordt dit ook veroorzaakt door verschillen in de analysetechniek (qPCR: norovirus, kweek: enterovirus, reovirus).

Tabel 2 Voorbeeld van concentraties van verschillende virussen in oppervlaktewaterlocaties. De Nederlandse locaties worden gebruikt als ruwwater bron voor de bereiding van drinkwater.

Virus	Locatie	Periode	Concentratie (gemiddeld) ²	Referentie
Enterovirus	IJsselmeer, Haringvliet, Drentse Aa	1978 – 1996	< 1 pve/l	19
Enterovirus	grote rivier	1978 – 1996	0,4 – 3 pve/l	19
Norovirus	Maas	1999 – 2002	74 pdu/l	4
Enterovirus	Maas	1999 – 2002	2 pve/l	4
Reovirus	Maas	1999 – 2002	0,3 pve/l	4
Norovirus	Bergsche Maas	2002 – 2003 (winter)	200 pdu/l (max: 3.000 pdu/l)	18
Rotavirus	wereldwijd		0,01 – 100 pve/l	2
Enterovirus	wereldwijd		0,001 – 10 pve/l	2

Zuivering

Om de verwijdering van de verschillende zuiveringsstappen te bepalen, wordt vaak gebruik gemaakt van bacteriofagen, omdat deze vaak in grotere aantallen voorkomen dan virussen en enigszins vergelijkbare morfologische en fysisch-chemische eigenschappen hebben, bijvoorbeeld structuur, grootte en lading (28). Zo zijn somatische colifagen een goede indicator voor UV-desinfectie en F-specifieke fagen (MS2) een goede indicator voor chloordioxide-desinfectie van adenovirussen (20). Recent is vastgesteld dat virussen die in grote getalen van nature voorkomen in oppervlaktewater maar niet pathogeen zijn voor mensen (de ‘natuurlijke virussen’) kunnen dienen als indicator ten behoeve van de verwijderingscapaciteit van zuiveringsstappen voor pathogene virussen. Daarnaast kan met deze methode ook de integriteit van ultrafiltratie, omgekeerde osmose en oeverfiltratieprocessen nauwkeurig en routinematig worden bepaald en waar nodig worden bijgestuurd (21).

Virussen worden op verschillende manieren verwijderd tijdens de bereiding van drinkwater, al varieert de verwijdering per soort virus en per zuiveringsstap. Bodempassage, oeverfiltratie, onverzadigde zone en membraanfiltratie (omgekeerde osmose, nanofiltratie, ultrafiltratie) geven een hoge virusverwijdering (2, 22). Ook langzame-zandfiltratie kan een substantiële bijdrage leveren aan de virusverwijdering (13). Zuiveringsstappen die slechts tot weinig virusverwijdering leiden, zijn coagulatie/snefiltratie (6), evenals actieve-koolfiltratie (2, 23). Bij desinfectie met chloor, chloordioxide en ozon worden virussen afgedood (31). Adenovirussen zijn veel minder gevoelig voor UV-desinfectie dan andere enterale virussen (24). Passage van water door een spaarbekken geeft een variabele verwijdering (4, 16).

Referenties

- [1] [https://nl.wikipedia.org/wiki/Virus_\(biologie\)](https://nl.wikipedia.org/wiki/Virus_(biologie)).
- [2] World Health Organization (2022): Guidelines for drinking-water quality; Fourth edition incorporating the first and second addenda. WHO, Genève.
- [3] Rutjes, S.A., de Roda Husman, A.M. (2004): Procedure voor virusdetectie in water ten behoeve van het Nederlandse Waterleidingbesluit 2001. Rapport 330000007/2004. RIVM, Bilthoven.
- [4] de Roda Husman, A.M., Ketelaars, H.A.M., Lodder, W.J., Medema, G.J., Schets, F.M. (2006). De microbiologische kwaliteit van het ingenomen en afgeleverde water van Waterwinningbedrijf Brabantse Biesbosch in 2001. Rapport 330250002/2006. RIVM, Bilthoven.
- [5] Hoogenboezem, W., Ketelaars, H.A.M., Medema, G.J., Rijs, G.B.J., Schijven, J.F. (2001). *Cryptosporidium* en *Giardia*: voorkomen in rioolwater, mest en oppervlaktewater met zwem- en drinkwaterfunctie. RIWA, Amsterdam.

- [6] de Roda Husman, A.M., Lodder, W., van den Berg, H., Schijven, J., Rutjes, R., Schets, C. (2019): Ziekteverwekkende virussen in (drink)water? Tijdschr. Infect. 14, 223-227.
https://www.aries.nl/wp-content/uploads/2019/12/Tvl6_2019_Art_deRodaHusman.pdf
- [7] de Roda Husman, A.M. (2001): Humane virussen in H₂O. H₂O 8, 18-20.
<https://edepot.wur.nl/359660>
- [8] Limaheluw, J., de Roda Husman, A.M., Schets, F.M. (2020): Gezondheidsklachten door waterrecreatie in de zomers van 2017, 2018 en 2019. Infectieziekten Bulletin 31, 1.
- [9] Oorsprong, D.M., Schets, F.M. (2020): Inventarisatie van microbiologische risico's van speelwater met een checklist. Infectieziekten Bulletin 31, 3.
- [10] Lodder WJ, Schijven JF, Rutjes SA, et al. (2015): Enter- and parechovirus distributions in surface water and probabilities of exposure to these viruses during water recreation. Water Res. 75, 25-32.
- [11] van der Sanden, S., de Bruin, E., Vennema, H., Swanink, C., Koopmans, M., van der Avoort, H. (2008): Prevalence of human parechovirus in The Netherlands in 2000 to 2007. J. Clin. Microbiol. 46, 2884-2889.
- [12] Heijnen, L. (2011): Virusverwijdering door drinkwaterzuiveringsprocessen: de waarde van somatische fagen, F-specifieke fagen en adenovirussen. BTO 2011.010. KWR, Nieuwegein.
- [13] Hijnen, W.A.M., Beerendonk, E.F., Medema, G.J. (2006): Inactivation credit of UV radiation for viruses, bacteria and protozoan (oo)cysts in water treatment. Water Res. 44, 1224-1234.
- [14] Sips G.J., Dirven, M.J.G., Donkervoort, J.T., van Kolfschoten, F.M., Schapendonk, C.M.E., Phan M.V.T., Bloem, A., van Leeuwen, A.F., Trompenaars, M.C.E., Koopmans M.P.G., van der Eijk, A.A., de Graaf, M., Fanoy E.B. (2019): Een norovirusuitbraak in een natuurspeeltuin: een One-Health-benadering. Infectieziekten Bulletin 30, 4.
- [15] Rutjes SA, Lodder WJ, Van Leeuwen AD, et al. (2009). Detection of infectious rotavirus in naturally contaminated source waters for drinking water production. J. Appl. Microbiol. 107, 97-105.
- [16] van Olphen, M., van de Baan, E., Kapsenberg, J.G., van Breemen, L.W.C.A. (1992): Virusverwijdering bij opslag van Maaswater in spaarbekkens. H₂O 20, 550-555.
- [17] Italiaander, R. (2013): Virusverwijdering uit oppervlaktewater door coagulatie/sedimentatie en snelle zandfiltratie. BTO 2013.012. KWR, Nieuwegein.
- [18] Westrell, T., Teunis, P., van den Berg, H., Lodder, W., Ketelaars, H.A.M., Stenström, T.A., de Roda Husman, A.M. (2006). Short and long-term variations of norovirus concentrations in the Meuse river during a two-year study period. Wat Res. 40, 2613-2620.
- [19] Theunissen, J.J.H., Nobel, P.J., van der Heide, R., de Bruin, H.A.M., van Veenendaal, D., Lodder, J.F., Schijven, G.J., Medema, G.J., van der Kooij, D. (1998): Enterovirusconcentraties bij innamepunten van oppervlaktewater voor de bereiding van drinkwater. Rapport 289202013. RIVM, Bilthoven.
- [20] Schijven, J., Teunis, P., Suylen, T., Ketelaars, H., Hornstra, L. (2019): QMRA of adenovirus in drinking water at a drinking water treatment plant using UV and chlorine dioxide disinfection. Water Res. 158, 13-45.
- [21] Hornstra, L. (2020): Natuurlijke virussen voor de bewaking van zuiveringsprocessen. BTO 2020.009. KWR, Nieuwegein.

- [22] Hijnen, W.A.M., Cirkel, D.G., Brouwer-Hanzens, A.J., Cai, J.H., Oorthuizen, W.A. (2014): Verwijdering van *Escherichia coli* en MS2 bacteriofagen in de onverzadigde zone en de invloed van de dikte, regenintensiteit en opgeloste organische stof. BTO 2014.020. KWR, Nieuwegein.
- [23] Hijnen, W., Suylen, T., Bahlman, J., Medema, G. (2011). Actiefkoolfiltratie als barrière voor micro-organismen in drinkwaterbereiding. *H₂O* 29, 40-43.
- [24] Eischeid, A.C., Thurston, J.A., Linden, K.G. (2011). UV disinfection of adenovirus: present state of the research and future directions. *Crit. Rev. Environ. Sci. Tech.* 41, 1375-1396.
- [25] <https://werkboeken.nvk.nl/kinderinfectieziekten/Verwekkers/Entero-en-parechovirus>
- [26] Lodder, W.J., de Roda Husman, A.M. (2005). Presence of noroviruses and other enteric viruses in sewage and surface water in The Netherlands. *AEM*, 71, 3, 1453-1461.
- [27] Lodder, W.J., Vinje, J., van de Heide R., de Roda Husman, A., Koopmans, M., Leenen, E. (2000). Detectie van Norwalk-like calicivirussen en rotavirussen in rioolwater in relatie tot explosies van gastro-enteritis. RIVM-rapport 289202-025.
- [28] Meschke, J.S. and Girones, R. (eds), Part 3: Specific Excreted Pathogens: Environmental and Epidemiology Aspects – Section 1: Viruses. In: Rose, B. and Jiménez-Cisneros, B. (eds) (2021). *Water and Sanitation for the 21st Century: Health and Microbiological Aspects of Excreta and Wastewater Management (Global Water Pathogen Project)*. Michigan State University, E. Lansing, MI, UNESCO. <https://doi.org/10.14321/waterpathogens.11>
- [29] Inspectie Leefomgeving en Transport, (2020). Richtsnoer Analyse Microbiologische Veiligheid Drinkwater (AMVD)
- [30] Yezli, S., Otter, J.A. (2011). Minimum Infective Dose of the Major Human Respiratory and Enteric Viruses Transmitted Through Food and the Environment. *Food Environ. Virol.*, 3: 1 – 30. DOI 10.1007/s12560-011-9056-7
- [31] Moel, P.J. de, Verberk, J.Q.J.C., en Dijk, J.C. van (2012): 'Drinkwater – principes en praktijk', Water Management Academic Press, Delft Nederland

● Waterstofcarbonaat ('bicarbonaat')

Grondslag norm: bedrijfstechnisch

Drinkwaterbesluit 2011: minimum waarde 60 mg/l

WHO 2022: geen richtwaarde

EU Drinkwaterrichtlijn 2020: geen parameterwaarde

Herkomst

Het beheersen van de corrosie van metalen in het leidingnet omvat veel parameters, waaronder de concentraties aan calcium, bicarbonaat, carbonaat en opgeloste zuurstof, en de zuurgraad [1]. De precieze vereisten verschillen, afhankelijk van de waterkwaliteit en de materialen die in het leidingnet worden toegepast. De pH bepaalt de oplosbaarheid en reactiesnelheid van de meeste metaalsoorten die betrokken zijn bij corrosiereacties. Het is vooral belangrijk in verband met de vorming van een beschermende film aan het metaaloppervlak. Voor sommige metalen beïnvloeden alkaliniteit (carbonaat en bicarbonaat) en de concentratie calcium (hardheid) ook de corrosiesnelheid. De verhouding van de concentraties aan chloride en sulfaat tot de concentratie bicarbonaat is nuttig gebleken bij het beoordelen van de corrosiviteit van water voor gietijzer en staal. Een soortgelijke benadering is gebruikt bij het bestuderen van het oplossen van zink uit messing fittingen.

Blootstellingsroutes

Een blootstellingsroute is voor waterstofcarbonaat (koolzuur) niet relevant.

Gezondheidskundige betekenis

Waterstofcarbonaat 'an sich' heeft geen gezondheidskundige betekenis. Wel wordt door de aanwezigheid van voldoende waterstofcarbonaat de afgifte van metalen als koper en lood uit onderdelen van leidingen verminderd [2].

Normen en richtlijnen verklaard

Waterstofcarbonaat geeft vooral het bufferende vermogen van (drink)water weer. In relatie met calcium en magnesium, en de zuurgraad bij de centrale ontharding van drinkwater is waterstofcarbonaat uitsluitend als bedrijfstechnische parameter van belang [2].

Aanwezigheid in drinkwater(bronnen) en monitoring

De parameter waterstofcarbonaat wordt volgens de Drinkwaterregeling bepaald in ruw oppervlaktewater en (oever)grondwater dat is bestemd voor de bereiding van drinkwater en in drinkwater aan het tappunt. Voor waterstofcarbonaat geldt een minimum waarde van 60 mg/l in drinkwater.

Tussen 2015 en 2020 was de mediaanconcentratie in ruw oppervlaktewater gemiddeld 167 mg/l. 2020 heeft weliswaar een lagere concentratie, maar hier is slechts één meetwaarde beschikbaar. Minima waren rond de 90 mg/l. In ruw grondwater is de mediaanconcentratie rond de 195 mg/l. Gemeten minima liggen erg laag: rond de 11 mg/l. Dit geldt met name voor enkele locaties in de provincie Overijssel. In water na de laatste zuiveringsstap is de mediaan rond de 153 mg/l. De minima in water na de laatste zuiveringsstap liggen rond de 42 mg/l. Dit is wel gebaseerd op de helft (181) minder meetlocaties dan in de andere jaren (circa 370).

In de ILT-rapportage komt de parameter waterstofcarbonaat een aantal keer voor. Over 2015 staat hierbij de volgende duiding: *'Op één locatie wordt regelmatig waterstofcarbonaat in een te lage concentratie gemeten. De oorzaak ligt in de natuurlijke kwaliteit van het water. Het bedrijf heeft maatregelen genomen om dit probleem op te lossen'*. In de volgende (over 2016) is daaraan de volgende zin toegevoegd: *'Het betrokken drinkwaterbedrijf heeft maatregelen genomen,*



waardoor het aantal metingen waarbij te lage concentraties zijn geconstateerd sterk is gedaald ten opzichte van voorgaande jaren.'

Aantal keer overschrijding	Jaar
27 keer	2015
22 keer	2016
8 keer (van 9.985 metingen)	2017
7 keer (van 10.012 metingen)	2018
1 keer (van 9.533 metingen)	2019
3 keer (van 9.521 metingen)	2020
8 keer (van 9.608 metingen)	2021

Zuivering

Dit onderdeel is niet relevant voor waterstofcarbonaat.

Referenties

[1] WHO (2022): 'Guidelines for drinking-water quality; Fourth edition incorporating the first and second addenda', WHO, Geneva.

[9789240045064-eng \(2\).pdf](#)

[2] <https://www.dunea.nl/drinkwater/waterkwaliteit-en-samenstelling/verschillende-normen/bedrijfstechische-parameters#:~:text=Waterstofcarbonaat%20geeft%20vooral%20het%20bufferende,als%20bedrijfstechnische%20parameter%20van%20belang>

● IJzer

Grondslag norm: indicator, organoleptisch/esthetisch

Drinkwaterbesluit 2011: maximum waarde 200 µg/l

WHO 2022: geen richtwaarde

EU Drinkwaterrichtlijn 2020: parameterwaarde 200 µg/l

Herkomst

IJzer is een van de meest voorkomende metalen in de aardkorst. De aardkorst bestaat voor ongeveer 5% uit ijzer, meest voorkomend als het mineraal hematiet (Fe_2O_3). Zuiver ijzer wordt hieruit geïsoleerd door het erts bij hoge temperatuur te reduceren met koolstof. In vrijwel alle delen van de wereld zijn ijzermijnen te vinden. De grootste wingebieden liggen in China, Brazilië, Australië, Rusland en India, samen goed voor ongeveer 70% van de wereldproductie [1].

Van alle bekende metalen wordt ijzer het meest gebruikt, tegenwoordig vooral in de vorm van staal. Omdat het goedkoop en sterk is, wordt het gebruikt voor bijvoorbeeld auto's, schepen en voor het bouwen van grote constructies [1]. Voor grote drinkwaterleidingen wordt vaak ijzer gebruikt.

Ijzeroxides worden als pigmenten gebruikt in plastics en verven [2].

Ijzer vormt een natuurlijk bestanddeel van planten en dieren. Eiwitrijke voedselbronnen bevatten vaak veel ijzer. Lever, nier en groene groenten bevatten 20 – 150 mg ijzer/kg en vlees en eidooier 10 – 20 mg ijzer/kg. Rijst en veel fruitsoorten en niet-groene groenten hebben een laag gehalte: 0 – 10 mg ijzer/kg [1, 2].

De mediane concentratie ijzer in rivieren bedraagt circa 700 µg/l. In anaeroob grondwater variëren de concentraties ijzer van 500 – 10.000 µg/l en kunnen soms oplopen tot 50.000 µg/l [2].

Blootstellingsroutes

Ijzer wordt met name via voeding en in enige mate via drinkwater ingenomen en met name in de twaalfvingerige en dunne darm geabsorbeerd (opgenomen). De geabsorbeerde hoeveelheid hangt af van de individuele ijzerstatus en wordt zo gereguleerd dat er niet te veel ijzer wordt opgeslagen [6]. Zowel dierlijke als plantaardige producten bevatten ijzer.

Gezondheidkundige betekenis

Ijzer is een essentieel element in de menselijke voeding, met name in de vorm van ijzer(II). Ijzer is belangrijk voor de vorming van hemoglobine, een onderdeel van rode bloedcellen. Rode bloedcellen vervoeren zuurstof door ons lichaam. Ijzer is verder nodig om in cellen energie te produceren en draagt bij aan een normale werking van het afweersysteem [6]. Schattingen van de minimale dagelijkse behoefte aan ijzer zijn afhankelijk van leeftijd, geslacht, fysiologische status en de biologische beschikbaarheid van ijzer, en variëren van 10 tot 50 mg/dag [2]. In Nederland bedraagt de gemiddelde inname ongeveer 10 mg/dag [3]. Er bestaat een erfelijke ijzerstapelingsziekte, die ervoor zorgt dat teveel ijzer wordt opgeslagen in het lichaam, wat kan leiden tot hart- en vaatziekten. Er zijn geen schadelijke effecten van de huidige concentraties ijzer in voedsel en drinkwater bekend.

Normen en richtlijnen verklaard

Bij concentraties ijzer lager dan 300 µg/l treden meestal geen smaakproblemen op. Esthetische problemen zoals een verhoogde troebelheid of veranderde kleur van het water kunnen al optreden bij concentraties van 50 – 100 µg/l. Bruine vlekken in het wasgoed en op het sanitair kunnen optreden bij concentraties hoger dan 300 µg/l [2]. De WHO geeft geen richtwaarde omdat er geen gezondheidseffecten worden verwacht van de wereldwijd aanwezige concentraties ijzer in water. Bovengenoemde esthetische en organoleptische richtwaarden worden wel genoemd [4].

Als voorzorgsmaatregel tegen de opslag van een teveel aan ijzer in het lichaam heeft het JECFA (Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives) in 1983 een PMTDI (Provisional Maximum Tolerable Daily Intake) van 0,8 mg/kg lichaamsgewicht vastgesteld, die geldt voor ijzer uit alle bronnen, met uitzondering van ijzeroxiden die als kleurstof worden gebruikt en ijzersupplementen die tijdens de zwangerschap en de lactatie of voor specifieke klinische behoeften worden ingenomen. Een toewijzing van 10% van deze PMTDI aan drinkwater geeft een waarde van ongeveer 2 mg/l, die geen gevaar voor de gezondheid oplevert. De smaak en het uiterlijk van drinkwater worden doorgaans (ver) onder dit niveau aangetast [2].

Aanwezigheid in drinkwater(bronnen) en monitoring

De parameter ijzer wordt volgens de Drinkwaterregeling bepaald in ruwwater en na de laatste zuiveringsstap of aan het tappunt in drinkwater.

Ijzer wordt in 77% van de meetlocaties aangetroffen na de laatste zuiveringsstap of aan het tappunt. Dit percentage loopt iets op met de jaren. Dat kan het gevolg zijn van een verlaagde rapportagegrens. Deze ligt tussen 2015 en 2020 tussen de 1 en 50 µg/l. De mediaan per jaar voor ijzer ligt op de rapportagegrens van 10 µg/l. Gezuiverd water met grondwater als bron heeft over het algemeen de hoogste gemeten mediaanwaarden per locatie. De hoogste gemeten waarde was daarbij 6.650 µg/l.

Ijzer wordt in alle meetlocaties aangetroffen in ruw oppervlaktewater. In ruw grondwater wordt ijzer in 96% van de meetlocaties aangetroffen boven de rapportagegrens. De mediaanconcentratie in ruw oppervlaktewater is in één meetlocatie opmerkelijk hoog (rond de 5.000 µg/l). In de andere meetlocaties ligt deze rond de 600 µg/l. In ruw grondwater is de mediaan 2.050 µg/l. De concentratie ijzer varieert ook in ruw grondwater zeer sterk tussen meetlocaties. Een uitschieter betreft een gemiddelde waarde van > 20.000 µg/l. De maximum gemeten concentratie per jaar in ruw oppervlaktewater ligt rond de 4.000 µg/l en in ruw grondwater is dit 28.500 µg/l (zonder de hierboven genoemde uitschieters).

In de ILT-rapportages worden in verschillende jaren overschrijdingen gemeld:

Jaren	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Aantal keer	20	14	11	9	14	10	10
Metingen	-	15.252	9.481	9.395	9.195	8.371	8.724

Zuivering

Ijzer komt van nature voor in grondwater en dan in de vorm van tweewaardige ionen (Fe(II)). Tijdens de beluchtingsstap wordt dit Fe(II) geoxideerd tot driewaardig ijzer (Fe(III)), dat coaguleert en in de vorm van ijzer(hydr)oxiden neerslaat. Hierbij worden ook andere deeltjes en een deel van het natuurlijk organisch materiaal (NOM) ingevangen in het neerslag. Over het algemeen wordt dit door middel van snelfiltratie over zand en antraciet verwijderd [5].

Bij oppervlaktewater wordt ook coagulatie met ijzer toegepast om deeltjes en ook arseen en fosfaat uit het water te verwijderen. Hier wordt het alleen kunstmatig op gang gebracht door ijzerzouten (meestal ijzer(III)chloride, FeCl₃) aan het water toe te voegen. Ook dan vormt zich een neerslag dat voornamelijk uit ijzer(hydr)oxiden bestaat en dat door middel van sedimentatie of DAF en snelfiltratie, kan worden verwijderd [5]. Filtratie over actieve kool zal een deel van het ijzer kunnen afvangen.

Nanofiltratie kan meerwaardige ionen tegenhouden en zal ijzerionen in oplossing dus ook voor meer dan 90% verwijderen. Omgekeerde osmose is zeker geschikt om meerwaardige ionen te verwijderen. Membraanfiltratie moet dan wel worden ingezet op het anaerobe grondwater (ijzer in F(II) vorm), omdat het anders tot vervuiling van de membranen met ijzer hydroxyde zal leiden.

Ijzer wordt door zuurstof snel geoxideerd, zodat geen andere oxidatieprocessen nodig zijn.

Bij UV-processen is het belangrijk dat eventueel opgelost ijzer niet in de vorm van een neerslag in de oplossing aanwezig is, omdat deeltjes de effectiviteit van het UV-proces (desinfectie en geavanceerde oxidatie) kunnen verminderen.

Referenties

- [1] ([https://nl.wikipedia.org/wiki/IJzer_\(element\)](https://nl.wikipedia.org/wiki/IJzer_(element))).
- [2] WHO. (2003). Iron in Drinking-water. Background document for development of WHO *Guidelines for Drinking-water Quality*. WHO/SDE/WSH/03.04/08. WHO, Geneva.
- [3] Spanjersberg, M.Q.I., en Jansen, E.H.J.M. (2000): 'Iron deficiency and overload in relation to nutrition', RIVM-rapport nummer 650250 004. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven.
[Iron deficiency and overload in relation to nutrition | RIVM](#) en [RIVM report #](#)
- [4] WHO Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first and second addenda. Geneva: World Health Organization; 2022.
[9789240045064-eng \(2\).pdf](#).
- [5] Moel, P.J. de, Dijk, J.C. van, Verberk, J.Q.J.C. (2006) Drinkwater principes en praktijk ISBN 9789012109468
- [6] [IJzer in voeding | Voedingscentrum](#)

● Zink

Grondslag norm: organoleptisch/esthetisch

Drinkwaterbesluit 2011: maximum waarde 3,0 mg/l (Opmerking: 'Na > 16 uur stilstand')

WHO 2022: geen richtwaarde

EU Drinkwaterrichtlijn 2020: geen parameterwaarde

Herkomst

Zink (Zn) komt in kleine hoeveelheden in vrijwel alle gesteenten voor. De voornaamste zinkertsen zijn zinksulfiden. Het natuurlijke gehalte aan zink in de bodem wordt geschat op 1 – 300 mg/kg bodem. In het algemeen wordt zink gebruikt als bescherming tegen corrosie door thermisch of elektrolytisch verzinken (bijvoorbeeld vangrails), in koperlegeringen zoals messing, als muntmetaal en in dakgoten, regenpijpen en dakbedekking. Zinkoxide is de meest gebruikte vorm van zink, onder andere gebruikt als wit pigment in rubber en in verven [1, 2].

Zink is een van de meest mobiele sporenelementen en kan via uitspoelen aan het maaiveld in het grondwater terechtkomen. Belangrijke bronnen van zink in grondwater zijn atmosferische depositie en belasting vanuit de landbouw. Dit betreft het gebruik van dierlijke mest, kunstmest en zinkhoudende bestrijdingsmiddelen. In 2008 was de bijdrage van dierlijke mest en kunstmest op de landbouwgronden goed voor 86% van de totale belasting aan zink. De grenswaarden voor gehalten van zink (en ook koper) in mengvoeders zijn medio 2000 aangescherpt. De hoeveelheid van deze metalen in dierlijke mest is hierdoor sterk afgenomen. Dit vertaalt zich in een afname van de netto belasting met zink op landbouwbodems [6].

Blootstellingsroutes

In het algemeen is voeding de belangrijkste bron van inname van zink. Eiwitrijk voedsel zoals vlees en zeedieren bevatten hoge gehalten zink (10 – 50 mg/kg natgewicht), terwijl granen, groenten en fruit lage gehalten bevatten (< 5 mg/kg natgewicht). De dagelijkse inname wordt geschat op 5 – 22 mg. Het gehalte aan zink van een doorsnee dieet voor volwassenen in Noord-Amerika varieert tussen 10 en 15 mg. De aanbevolen dagelijkse hoeveelheid op te nemen zink bedraagt voor mannen 15 – 20 mg, voor vrouwen en voor jonge kinderen 5 mg [1, 5]. De bijdrage van drinkwater is meestal te verwaarlozen. Uitsluitend bij corrosie van verzinkt stalen leidingen kan drinkwater tot 10% bijdragen aan de dagelijkse inname [1]. In Nederland speelt dit geen rol van betekenis [3].

Gezondheidskundige betekenis

Zink is een essentieel sporenelement voor alle levende organismen. Er zijn bijna 200 enzymen bekend die zink bevatten, waaronder dehydrogenase, peptidase en polymerase [1]. Zink zorgt voor de opbouw van eiwitten en de groei en vernieuwing van weefsel, speelt een rol bij de stofwisseling en draagt bij aan een goede werking van het afweer- en immuunsysteem [4].

Vergeleken met andere metalen is zink weinig toxisch. Uitsluitend bij blootstelling aan zeer hoge doses (300 mg – 12 g) zijn acute effecten waarneembaar. Chronische vergiftiging door zink bij de mens is niet beschreven [3].

Normen en richtlijnen verklaard

De JECFA (Joint Expert Committee on Food Additives) heeft een voorlopige aanvaardbare maximale dagelijkse inname van 1 mg/kg lichaamsgewicht voorgesteld [5]. Aangezien de dagelijkse behoefte 15 – 20 mg bedraagt en de concentraties in drinkwater laag zijn, is zink in drinkwater niet van gezondheidskundig belang en is een formele richtwaarde niet nodig [5]. Wel wijst de WHO erop dat drinkwater bij concentraties zink hoger dan 3 mg/l onacceptabel kan worden voor de consumenten [5] als gevolg van smaak- en kleurbezwaren, en een vetachtig vel op het water na het koken [1].

De maximum waarde volgens het Drinkwaterbesluit betreft het hierboven genoemde esthetisch/organoleptische aspect van extreem hoge concentraties zink in drinkwater. Dat besluit geeft dan ook aan dat die waarde de concentratie in drinkwater betreft na 16 uur stilstand.

Aanwezigheid in drinkwater(bronnen) en monitoring

De parameter zink dient volgens de Drinkwaterregeling te worden bepaald in het ruwe water. Indien zink wordt gebruikt bij de distributie van drinkwater (bijvoorbeeld gegalvaniseerde leidingen) dan dient zink aan de tap te worden gemeten.

Tussen 2015 en 2020 is zink in ruw grondwater aangetroffen in gemiddeld 40% van de meetlocaties. De rapportagegrens varieert tussen 0,5 – 5,0 µg/l. De mediaanconcentratie ligt op 3,6 µg/l. De mediaan is locatieafhankelijk. Veel meetlocaties hebben hogere mediaanconcentraties zink. De jaarlijkse hoogste waarde die is gemeten, is over alle jaren hoger dan 75 µg/l met uitbijters tot 160 µg/l. In ruw oppervlaktewater ligt de rapportagegrens tussen de 2 – 40 µg/l. Op 70% van de locaties werd zink aangetroffen. De mediaanwaarde bedroeg gemiddeld 5,9 µg/l. Ook hier hing deze sterk af van de locatie. De jaarlijkse maximale waarden die zijn gemeten, liggen rond de 38 µg/l. Aan de tap wordt zink in 100% van de locaties aangetroffen, gemiddeld met een concentratie van 7,3 µg/l. Er is dus een hogere concentratie zink aan de tap dan in het ruwe water. Er is sprake van een stijgende lijn in deze mediaanconcentratie over de jaren. De rapportagegrens ligt tussen de 2 – 5 µg/l. Gemeten maxima aan de tap variëren sterk van 72 µg/l (2019) tot uitschieters van 610 µg/l (2020). De parameter wordt echter niet vermeld in de ILT rapportages over drinkwater van de jaren 2015 – 2022.

Zuivering

Zink kan uit het water worden verwijderd door bezinking in diepe bekkens, coagulatie, actieve-koolfiltratie, selectieve ionenwisselaars en omgekeerde osmose.

Gezien de gezondheidskundig gezien lage concentratie in ruw water is de verwijdering van zink in de zuivering van ondergeschikt belang.

Referenties

- [1] WHO (2003): 'Zinc in Drinking-water; Background document for development of WHO *Guidelines for Drinking-water Quality*', WHO/SDE/WSH/03.04/17, WHO, Genève.
[Microsoft Word - GDWQ.2ndEdit.Zinc.doc \(who.int\)](#)
- [2] [https://nl.wikipedia.org/wiki/Zink_\(element\)](https://nl.wikipedia.org/wiki/Zink_(element))
- [3] Dijk-Looijaard, A.M. van (1993): 'Herziening Normen Waterleidingbesluit', rapport SWO 92.294, KIWA Onderzoek en Advies, Nieuwegein.
- [4] <https://www.voedingscentrum.nl/encyclopedie/zink.aspx>
- [5] WHO (2022): 'Guidelines for drinking-water quality; Fourth edition incorporating the first and second addenda', Geneva.
<https://www.who.int/publications/i/item/9789240045064>
- [6] Naus, F.L., Gils, D. van, Brussé, T.J. (2023): 'Toestand en trend van de ondiepe en middeldiepe grondwaterkwaliteit in Nederland zoals gemeten in het Landelijk Meetnet Grondwaterkwaliteit', RIVM-rapport 2023-0353, RIVM, Bilthoven.
[Toestand en trend van de ondiepe en middeldiepe grondwaterkwaliteit in Nederland zoals gemeten in het Landelijk Meetnet Grondwaterkwaliteit | RIVM](#)

• Zuurgraad (pH)

Grondslag norm: bedrijfstechnisch

Drinkwaterbesluit 2011: $7,0 < \text{pH} < 9,5$ pH-eenheden

WHO 2022: geen richtwaarde

EU Drinkwaterrichtlijn 2020: $\geq 6,5$ en $\leq 9,5$ pH-eenheden (Opmerking: 'Het water zou niet agressief mogen zijn. Voor niet-bruisend water in flessen of verpakkingen kan de minimumwaarde verlaagd worden tot $4,5$ pH-eenheden. Voor water in flessen of verpakkingen dat van nature rijk is aan kooldioxide of kunstmatig verrijkt is met kooldioxide kan de minimumwaarde lager zijn.')

Herkomst

De zuurgraad of pH beschrijft het aantal waterstofionen of protonen (H^+) in een waterige oplossing of juist het aantal hydroxoniumionen (H_3O^+) in een waterige oplossing, omdat waterstofionen in water altijd gehydrateerd (verbonden met watermoleculen) voorkomen [1]. De pH is gelijk aan de negatieve logaritme (met grondtal 10) van de concentratie H_3O^+ in mol/l. Omdat deze concentraties zeer klein kunnen worden, wordt voor de concentraties een logaritmische schaal gebruikt [2].

De pH is een maat voor de zuurgraad van een waterige oplossing. De pH van een neutrale waterige oplossing ligt bij kamertemperatuur rond de 7. Zure oplossingen hebben een pH lager dan 7 en dus een hoge zuurgraad. Basische oplossingen hebben een pH hoger dan 7 en dus een lage zuurgraad [2].

Het concept pH werd in 1909 geïntroduceerd door Søren Sørensen. De 'H' is het internationale chemische symbool voor het element waterstof (Latijnse naam: Hydrogenium) [3, 4]. De exacte betekenis van de 'p' is niet bekend. Verklaringen lopen uiteen van *potentia hydrogenii* of *pondus hydrogenii* tot *Potenz* (Duits) of *puissance* (Frans) wat in alle talen 'macht' met betrekking tot machtsverheffen betekent, want de pH-schaal is immers logaritmisch [2].

Blootstellingsroutes.

Een blootstellingsroute is voor pH in het kader van deze factsheet niet van belang.

Gezondheidskundige betekenis

De schadelijkheid van de effecten van zure en basische oplossingen hangt af van de sterkte van het zuur of de base en de concentratie. Sterk geconcentreerde zuren of basen zijn corrosief, terwijl verdunde en zwakke zuren of basen niet corrosief zijn. Uitsluitend de pH is niet bepalend bij de vraag of er sprake is van nadelige gezondheidseffecten. De pH van maagzuur (dat het sterke zuur zoutzuur bevat) bedraagt gemiddeld 2, terwijl er diverse voedingsmiddelen zijn die ook een lage pH hebben. Citroenzuur heeft een pH van 2,4 en azijnzuur van 2,8. Dit zijn zwakke zuren die zonder problemen kunnen worden geconsumeerd. Een directe relatie tussen de pH en nadelige effecten voor de gezondheid kan daarom niet worden vastgesteld [5].

De pH van (drink)water heeft invloed op de mate van corrosie van leidingmaterialen en dus op kwaliteitsveranderingen van het drinkwater tijdens transport en distributie. Om corrosie en oplossen te voorkomen, dient er sprake te zijn van 'stabiel' en dus geen agressief (drink)water. Ook kan de pH een rol spelen bij de effectiviteit van desinfectie. Er kunnen dus wel indirecte gezondheidseffecten optreden [5, 6]. Een afwijkende pH kan een indicatie zijn voor de verontreiniging van een bron voor drinkwater (met bijvoorbeeld nitraat of drugsafval).

Normen en richtlijnen verklaard

De WHO heeft wel een optimale range ($\text{pH} = 6,5 - 8,5$) maar geen richtwaarde voor de pH van drinkwater afgegeven, omdat de pH onder normale omstandigheden geen directe gezondheidseffecten heeft voor consumenten [7].

De Europese Drinkwaterrichtlijn en het Drinkwaterbesluit geven (alhoewel enigszins verschillend) een range aan waarbinnen de pH van het drinkwater zich moet bevinden.

De pH valt in het Drinkwaterbesluit onder de bedrijfstechnische parameters, omdat deze parameter met name van belang is voor de optimale watersamenstelling met betrekking tot kwaliteitshandhaving tijdens distributie.

Aanwezigheid in drinkwater(bronnen) en monitoring

De parameter zuurgraad wordt volgens de Drinkwaterregeling bepaald in oppervlaktewater en in grondwater dat bestemd is voor de bereiding van drinkwater, en in drinkwater aan het tappunt.

De zuurgraad in ruw grondwater is stabiel in de jaren 2015 – 2020. De gemiddelde waarde was 7,24. Ook de jaarlijkse maxima waren stabiel en varieerden over de jaren van 8,17 tot 8,75. Voor ruw oppervlaktewater was het gemiddelde 7,94 met jaarlijkse maxima tussen 8,61 en 9,15. Aan het tappunt bedroeg de gemiddelde zuurgraad 7,92. Jaarlijkse maxima aan het tappunt varieerden tussen 8,86 en 9,26.

In de ILT-rapportages over de drinkwaterkwaliteit in de jaren 2015 – 2022 worden diverse keren overschrijdingen vermeld van deze parameter onder het kopje ‘bedrijfstechnische parameters’, zoals in 2016 (een keer), 2017 (vijf keer), 2018 (een keer), 2020 (twee keer) en 2022 (zes keer).

Zuivering

Hoewel de pH gewoonlijk geen directe nadelige gevolgen heeft voor consumenten is het een van de belangrijkste operationele waterkwaliteitsparameters. De pH dient daarom tijdens het gehele drinkwaterproductieproces nauwgezet te worden gemonitord en zo nodig worden bijgestuurd om te waarborgen dat het zuiverings- en desinfectieproces optimaal verloopt.

Referenties

[1] <https://nl.wikipedia.org/wiki/Hydroxonium>

[2] <https://nl.wikipedia.org/wiki/PH>

[3] <https://en.wiktionary.org/wiki/pH>

[4] [https://nl.wikipedia.org/wiki/Waterstof_\(element\)](https://nl.wikipedia.org/wiki/Waterstof_(element))

[5] WHO (2007): ‘pH in Drinking-water; Background document for development of WHO *Guidelines for Drinking-water Quality*’, WHO/SDE/WSH/07.01/1, WHO, Geneva.

[Microsoft Word - pH revised 2007 Clean version.doc \(who.int\)](#)

[6] Dijk-Looijaard, A.M. van (1993): ‘Herziening Normen Waterleidingbesluit’, rapport SWO 92.294, KIWA Onderzoek en Advies, Nieuwegein.

[7] WHO (2022): ‘Guidelines for drinking-water quality:; Fourth edition incorporating the first and second addenda’, Geneva.

<https://www.who.int/publications/i/item/9789240045064>

● Zuurstof

Grondslag norm: bedrijfstechnisch

Drinkwaterbesluit 2011: groter dan 2 mg/l

WHO 2022: geen richtwaarde

EU Drinkwaterrichtlijn 2020: geen grenswaarde

Herkomst

Cyanobacteriën (blauwalgen) behoren tot de oudste organismen op aarde. Er wordt geschat dat ze al 3,5 miljard jaar bestaan. Ze waren de eerste organismen op aarde die zuurstof konden produceren en zo uiteindelijk de evolutie van hogere, zuurstof-verbruikende organismen mogelijk hebben gemaakt [1]. Dankzij hun fotosynthetische activiteit zorgden deze cyanobacteriën voor een van de grootste milieuveranderingen uit de geschiedenis van de aarde. De atmosfeer veranderde rond 2,2 miljard jaar geleden van een vrijwel zuurstofloze in een zuurstofrijke. Hiermee werd het leven zoals we dat nu kennen mogelijk [2]. Door deze zuurstofproductie ontstond de ozonlaag op een hoogte van 15 – 50 km: de UV-straling van de zon splitste zuurstofmoleculen in zuurstofradicalen. Deze radicalen reageerden weer met een ander zuurstofmolecuul en vormden zo ozon (O₃). Deze ozonlaag blijft in stand omdat de ozon weer heel gemakkelijk UV-straling absorbeert en daarbij weer zuurstof en een vrij zuurstofradicaal vormt. Zodoende blijft dit instabiele molecuul toch in aanzienlijke concentraties aanwezig [3]. De ozonlaag houdt het schadelijkste deel van UV-straling van de zon tegen en heeft zo het (ingewikkelde) leven op land mogelijk gemaakt [4]. Sinds de jaren 70 van de vorige eeuw is de ozonlaag met name bij de Zuidpool aanzienlijk dunner geworden door het vrijkomen van de drijfgassen (CFK's) die onder meer in koelkasten en spuitbussen werden gebruikt en in 'piepschuim' (PS, polystyreen) waren verwerkt. Als gevolg van internationale afspraken is het gebruik van deze ozonafbrekende stoffen verminderd en daardoor herstelt de ozonlaag zich weer [5, 6].

De lucht in de onderste laag van de dampkring bevat 21% zuurstof [7].

De hoeveelheid zuurstof die in water oplost, is afhankelijk van de temperatuur, de concentratie aan zouten en de luchtdruk. Hoe hoger de temperatuur des te minder zuurstof kan er in het water oplossen. De maximale hoeveelheid in water opgelost zuurstof heet de verzadigingswaarde. Bij 0°C kan er maximaal 14,6 mg/l zuurstof in water oplossen; bij 20°C is dat 9,07 mg/l. Hoe zouter het water, hoe minder zuurstof erin oplost. De oplosbaarheid van zuurstof in zeewater is hierdoor circa 20% lager dan in zoetwater. Bij lage luchtdruk lost er minder zuurstof op dan bij hoge luchtdruk, maar de verschillen zijn erg klein [8].

In aanwezigheid van reducerende elementen zoals ijzer, mangaan en koper, en stoffen die stikstof of zwavel bevatten, zal de concentratie zuurstof in water dalen [9]. Ook kan de concentratie zuurstof dalen door microbiologische omzetting van organisch materiaal in sedimenten en afzettingen in het leidingnet [9]. Tijdens (actieve-kool)filtratie kan de microbiologische activiteit in de filters tot sterke dalingen van de concentratie zuurstof leiden, vooral bij hogere temperaturen in de zomer. Als de beschikbare hoeveelheid zuurstof is verbruikt, zullen anaerobe corrosie-processen (waarbij sulfaat-reducerende bacteriën actief zijn) kunnen optreden. Verder kunnen nitraat en sulfaat worden gereduceerd. Deze processen veroorzaken een slechte geur en smaak van het water (waterstofsulfide, kooldioxide en methaan) en bovendien kan het water verkleuren [9].

Blootstellingsroutes

Dit onderdeel is niet van toepassing voor zuurstof.

Gezondheidskundige betekenis

De parameter zuurstof is een bedrijfstechnische parameter (zie onderdeel 'Zuivering') en de hoeveelheid daarvan in drinkwater is gezondheidskundig niet relevant (zie volgende onderdeel).

Normen en richtlijnen verklaard

De WHO heeft geen richtwaarde voor zuurstof bepaald, omdat de hoeveelheid zuurstof in drinkwater gezondheidskundig niet relevant is. De WHO beveelt uitsluitend aan ervoor te zorgen dat er niet te weinig en niet te veel zuurstof in het water aanwezig is [10].

In de Europese Drinkwaterrichtlijn is de parameter zuurstof niet opgenomen. In het Drinkwaterbesluit is dat wel het geval met een minimale grenswaarde: 2 mg/l. De grondslag van de waarde in het Drinkwaterbesluit is bedrijfstechnisch [9]. Uitputting van in water opgeloste zuurstof kan de microbiële reductie van nitraat tot nitriet en van sulfaat tot sulfide bevorderen. Het kan bovendien een verhoging van de concentratie ijzer veroorzaken, met bruin water als gevolg bij contact met de lucht.

Heel hoge concentraties opgeloste zuurstof kunnen corrosie van metalen leidingen verergeren.

Aanwezigheid in drinkwater(bronnen) en monitoring

De parameter zuurstof dient volgens de Drinkwaterregeling te worden bepaald in oppervlaktewater en in grondwater dat is bestemd voor de bereiding van drinkwater, en in drinkwater aan het tappunt.

De gemiddelde concentratie zuurstof in ruw grondwater is 0,83 mg/l. Dat is iets hoger dan de rapportagegrens (0,5 mg/l). Er is vrij veel variatie in de concentratie zuurstof, met veel uitschieters naar boven. De jaarlijkse maxima variëren in ruw grondwater van 9,6 tot 12,0 mg/l. Voor ruw oppervlaktewater is het gemiddelde hoger (9,5 mg/l), met jaarlijkse maxima tussen 12,9 en 15,4 mg/l. Ook in ruw oppervlaktewater is er veel variatie tussen locaties met vooral uitschieters naar beneden. Aan het tappunt is de concentratie zuurstof gemiddeld 8,84 mg/l. Jaarlijkse maxima gemeten aan het tappunt variëren tussen 15,9 en 99 mg/l. Deze maxima duiden op een (forse) oververzadiging: er is meer zuurstof in het water opgelost dan wanneer het in evenwicht is met de lucht. Dit zal het gevolg zijn van de dosering van zuurstof om te lage concentraties als gevolg van een hoge consumptie van zuurstof door bacteriën in actieve-koolfilters te compenseren. De WHO waarschuwt dat de corrosie van metalen leidingen in zo'n situatie zal worden verergerd [10].

In de ILT-rapportages over de drinkwaterkwaliteit in de jaren 2015 – 2022 worden diverse keren overschrijdingen vermeld van deze parameter onder het kopje 'bedrijfstechnische parameters', zoals in 2015 (een keer), 2017 (twee keer), 2018 (een keer), 2021 (een keer) en 2022 (drie keer).

Zuivering

Zuurstof levert in de meeste gevallen een positieve bijdrage aan de zuiveringsprocessen. Door beluchting van anaeroob grondwater worden ammonium en methaan verwijderd. IJzer en mangaan worden geoxideerd, coaguleren en flocculeren, en slaan daarna meestal neer. Vervolgens worden neerslagen in een snelfilter/dubbellaagsfilter verwijderd.

Bij de biologische omzetting van organische stoffen speelt zuurstof een essentiële rol. Bij geavanceerde oxidatie van die stoffen speelt zuurstof op zich niet echt een belangrijke rol. In het geval ozon als desinfectiemiddel wordt gebruikt, is zuurstof (uit de lucht) nodig. Indien een zuivering een hoge zuurstof-vraag heeft in filtratieprocessen als gevolg van een hoge microbiologische activiteit in de zomer wordt op het einde van de zuivering zuurstof gedoseerd om aan de minimale waarde volgens het Drinkwaterbesluit te voldoen.

Zuurstofloos grondwater is gemakkelijk te zuiveren met omgekeerde osmose, omdat het nog geen deeltjes bevat.

Referenties

[1] <https://nl.wikipedia.org/wiki/Blauwalgen>

- [2] <https://www.wur.nl/nl/show/wat-zijn-blauwalgen.htm#>)
- [3] <https://nl.wikipedia.org/wiki/Ozonlaag>
- [4] <https://www.sron.nl/v-ontstaan-leven/>
- [5] <https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/uitleg/ozonlaag>
- [6] https://nl.wikipedia.org/wiki/Gat_in_de_ozonlaag#:~:text=Het%20ozongat%20is%20een%20plek,ozonlaag%20een%20ernstig%20milieuprobleem%20was
- [7] <https://nl.wikipedia.org/wiki/Lucht>
- [8] <https://www.onecuesystems.nl/zuurstof.htm>
- [9] Dijk-Looijaard, A.M. van (1993): 'Herziening Normen Waterleidingbesluit', rapport SWO 92.294, KIWA Onderzoek en Advies, Nieuwegein.
- [10] WHO (2022): 'Guidelines for drinking-water quality:; Fourth edition incorporating the first and second addenda', Geneva.
<https://www.who.int/publications/i/item/9789240045064>



Bijlagen



● Afkortingen

Dit is (op alfabetische volgorde) een niet-uitputtend overzicht van de afkortingen die worden gebruikt in verschillende factsheets.

ADI: Aanvaardbare Dagelijkse Inname

AOC: Assimileerbaar Organisch Koolstof

AWZI: AfvalWaterZuiveringsInstallatie

AMVD: Analyse Microbiologische Veiligheid Drinkwater

BMD: 'BenchMark Dose'

BMDL: 'BenchMark Dose Limit'

BPA: Bisfenol A

BQ: Benchmark Quotiënt

CCL: 'Candidate Chemicals List' (kandidatenlijst, zie de webpagina [Samenvatting van de verplichtingen die voortvloeien uit opname van SVHC's in de Kandidatenlijst - ECHA \(europa.eu\)](#) van ECHA)

CFK: ChloorFluorKoolwaterstof

Ctgb: College voor de toelating van gewasbeschermingsmiddelen en biociden

DCMR: DCMR Milieudienst Rijnmond (zie de webpagina [Over DCMR | DCMR](#))

DOC: 'Dissolved Organic Carbon'

ECHA: 'European Chemicals Agency' (het Europees Agentschap voor chemische stoffen)

EDI: 'Electro Delonisation' (ElectroDelonisatie, demineralisatie)

EFOA: 'European Fuel Oxygenates Association' (de Europese brancheorganisatie van producenten van MTBE en ETBE)

EFSA: 'European Food Safety Authority' (de Europese autoriteit voor voedselveiligheid)

EPA: 'Environmental Protection Agency'

ERM: 'European River Memorandum'

EU: Europese Unie

IARC: 'International Agency for Research on Cancer'

ILT: Inspectie Leefomgeving en Transport

JECFA: 'Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives'

KRW: KaderRichtlijn Water

kve: kolonievormende eenheden

NFN: Nederlandse Federatie voor Nefrologie

NOAEL: 'No-Observed-Adverse-Effect Level' (het niveau zonder waargenomen schadelijk effect)

NOEC: 'No Observed Effect Concentration' (hoogste concentratie waarbij nog geen effect van een verontreinigende stof op een organisme wordt waargenomen)



NOM: Natuurlijk Organisch Materiaal

OECD: 'Organisation for Economic Co-operation and Development' (Organisatie voor Economische Samenwerking en Ontwikkeling)

OEHHA: 'Office of Environmental Health Hazard Assessment' (Californische EPA)

PCR: 'Polymerase Chain Reaction'

pdu: 'PCR-detectable units'

pve: plaquevormende eenheden

QMRA: 'Quantitative Microbial Risk Assessment' (kwantitatieve microbiologische risicoanalyse)

RDT: 'Random Day Time'

REACH: 'Registration, Evaluation and Authorisation of CHemicals'

REWAB: Registratie Waterkwaliteitsgegevens Bedrijven

RIVM: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu

RIWA: Vereniging van Rivierwaterbedrijven (een samenwerkingsverband van Nederlandse drinkwaterbedrijven, die oppervlaktewater gebruiken als grondstof voor de bereiding van drinkwater)

RO: 'Reversed Osmosis' (omgekeerde osmose)

RPF: Relatieve Potentie Factor

RT-PCR: 'Reverse Transcription Polymerase Chain Reaction'

RWZI: RioolWaterZuiveringsInstallatie

TDI: Toelaatbare Dagelijkse Inname

THM: TriHaloMethaan

TOC: 'Total Organic Carbon'

TWI: Toelaatbare Wekelijkse Inname

US EPA: 'United States Environmental Protection Agency'

UV: UltraViolet

WHO: 'World Health Organization'

ZZS: Zeer Zorgwekkende Stof

● Begrippen

Ruwwater of ruwe water

Het door drinkwaterbedrijven ingenomen grondwater, oevergrondwater of oppervlaktewater dat in de zuivering in behandeling wordt genomen (grondstof dus), wordt als zodanig aangeduid.

REWAB-database

Nationale verzameling van meetgegevens van alle Nederlandse drinkwaterbedrijven over de kwaliteit van het ruwwater en het geproduceerde drinkwater voor de door de overheid voorgeschreven rapportage daarvoor aan ILT/RIVM.

Leveringspunt

Het fysieke verbindingspunt tussen de aansluiting op het leidingnet van een drinkwaterbedrijf en de daarop aangesloten drinkwaterinstallatie, collectief leidingnet of collectieve watervoorziening.

Tappunt

Het punt waar drinkwater beschikbaar komt voor gebruikers.

Overige begrippen op het gebied van drinkwater

Voor een scala aan andere begrippen op het gebied van drinkwater, zie de webpagina [Begrippenlijst - Praktijkcodes Drinkwater](https://www.PraktijkcodesDrinkwater.nl) van de website www.PraktijkcodesDrinkwater.nl

● Toelichtingen

Doelgroep: (data van) drinkwaterbedrijven

De factsheets van de Wegwijzer Waterkwaliteit zijn bedoeld voor de Nederlandse drinkwaterbedrijven, zodat de Tabellen Ia, Ib, Ic en II van [Bijlage 3](#) 'Monitoring en meetfrequenties' van de [Drinkwaterregeling](#) zijn gevolgd. Zoals blijkt uit de titel van genoemde tabellen zijn die van toepassing voor die bedrijven. De Tabellen IIIa tot en met IIIh hebben betrekking op 'afgenomen drinkwater', 'wijkwarmtapwatervoorziening', 'collectieve watervoorziening' en/of 'collectief leidingnet'.

Het begrip 'wijkwarmwatervoorziening' is niet in de publiekrechtelijke regelgeving voor drinkwater gedefinieerd (behalve 'warm tapwater' en wel in de [Drinkwaterwet](#): '*water bestemd of mede bestemd om te drinken, te koken of voedsel te bereiden dan wel voor andere huishoudelijke doeleinden, dat wordt verwarmd voordat het voor die toepassingen ter beschikking wordt gesteld*').

Voor de begrippen 'collectieve watervoorziening' en 'collectief leidingnet', zie de webpagina [Begrippenlijst - Praktijkcodes Drinkwater](#) van de website www.PraktijkcodesDrinkwater.nl

Documenten, richtlijnen en regelingen

Normen voor drinkwater (algemene, microbiologische of chemische parameters met de bijbehorende grenswaarde, zie verder) komen voor in de volgende documenten van publiekrechtelijke aard:

- De [Europese Drinkwaterrichtlijn](#) (de vigerende editie is van december 2020, eerder was er de [editie van 1998](#))
 - Het [Drinkwaterbesluit](#) (Algemene Maatregel van Bestuur, AMvB) onder de [Drinkwaterwet](#)
- Deze documenten zijn niet opgenomen in het overzicht met literatuurreferenties van de verschillende factsheets (zie ook onder). Dat geldt ook voor de volgende ministeriële regelingen onder het Drinkwaterbesluit, waarin onder meer zaken met betrekking tot meetfrequenties zijn vastgelegd:

- de [Drinkwaterregeling](#)
- de [Regeling legionellapreventie in drinkwater en warm tapwater](#)

In het kader van de factsheets waren en zijn tevens de volgende relevante documenten betrokken:

- de '[Guidelines for drinking water quality](#)' van de WHO
 - de lijst met [Zeer Zorgwekkende Stoffen \(ZZS\)](#) van RIVM
- Deze lijst is bedoeld als een hulpmiddel voor bedrijven en vergunningverleners, en heeft als doel de risico's voor mens en milieu te beperken. Bedrijven die een stof van deze lijst gebruiken hebben verplichtingen bij gebruik, import en uitstoot.
- het [Protocol voor monitoring en toetsing drinkwaterbronnen KRW](#)
- Stoffen moeten volgens dit protocol worden gemeten in oppervlaktewater als ze drie jaar lang met hoger dan de helft van de 'signaleringswaarde' (zie onder) zijn aangetroffen in meer dan 90% van de metingen. Het protocol geldt voor alle 'overige antropogene stoffen'. Die 0,1 µg/l is een signaleringswaarde waarbij het 90-percentiel wordt getoetst over een periode van drie jaar.
- de ministeriële [Regeling materialen en chemicaliën drink- en warm tapwatervoorziening](#)
- Een 'erkende kwaliteitsverklaring' volgens deze ministeriële regeling wordt afgegeven door een 'erkende certificatie-instelling'. Die regeling houdt verband met gezondheidskundige aspecten van alle producten in contact met drinkwater of het daarvoor bestemde water: waterbehandelingschemicaliën en drinkwaterleidingen van diverse kunststof, metalen en cementgebonden materialen. Daarmee worden de onzuiverheden in waterbehandelingschemicaliën en de afgifte van minder gewenste stoffen door drinkwaterleidingen zo veel mogelijk beperkt en in ieder geval binnen de vereiste niveaus gehouden.

Norm (parameter en grenswaarde)

In het kader van de Wegwijzer waterkwaliteit is het begrip 'norm' gehanteerd als de combinatie van een parameter (algemeen, microbiologisch of chemisch) en een bijbehorende concentratie of hoeveelheid¹. Voor die 'bijbehorende concentratie of hoeveelheid' worden in diverse officiële documenten verschillende aanduidingen gehanteerd: 'parameterwaarde' ([Europese Drinkwaterrichtlijn](#)), 'maximum waarde' ([Drinkwaterbesluit](#) en [Drinkwaterregeling](#))¹³ en 'richtwaarde' (WHO). Deze aanduidingen zijn in principe als zodanig in de factsheets gehanteerd. Daarnaast komen daarin ook de volgende aanduidingen voor: grenswaarde en (kwaliteits)eis (meer algemeen), 'richtwaarde voor drinkwater' en 'drinkwaterrichtwaarde'¹⁴. In de literatuur wordt soms het begrip 'normwaarde' gebruikt.

Bij het bepalen van een richtwaarde wordt gekeken naar de dagelijkse toelaatbare inname van een stof bij levenslange blootstelling via drinkwater. Er wordt hierbij ook rekening gehouden met inname via andere routes. Bij deze concentratie zijn er geen of zeer kleine kansen op negatieve gevolgen voor de gezondheid te verwachten. De waarde is 'indicatief' wanneer toxicologische data die is gebruikt voor de afleiding niet volledig genoeg is. De indicatieve drinkwaterrichtwaarde van het RIVM voor de stof melamine is bijvoorbeeld afgeleid, omdat een Nederlands drinkwaterbedrijf langdurig een overschrijding van de signaleringswaarde van 1 µg/l vaststelde bij het innamepunt en er niet voldoende gegevens waren voor de stof om de veiligheid direct te kunnen inschatten. In de factsheets komen soms ook de volgende begrippen voor: voorlopige en indicatieve richtwaarde, tijdelijke ontheffingswaarde, (risico)grenswaarde. Het begrip 'signaleringswaarde' is niet gebruikt (zie ook volgende alinea).

Signaleringsparameters

Dit betreft de groep 'Signaleringsparameters' uit het [Drinkwaterbesluit](#) en de [Drinkwaterregeling](#). Deze groep parameters is bedoeld om de kwaliteit van de bron te bewaken. Wanneer de maximum waarde van 1 µg/l voor een stof wordt overschreden, is er nog geen risico voor de volksgezondheid, maar zal er nader onderzoek plaatsvinden naar de aard en herkomst van de stof. Als de maximum waarde van 1 µg/l voor een stof wordt overschreden in bronnen voor drinkwater komt er een innamestop en als de overschrijding (naar verwachting) meer dan 30 dagen zal gaan duren, moet er een ontheffing worden aangevraagd om weer water te mogen innemen voor de bereiding van drinkwater. Die wordt pas toegekend na de uitvoering van een risicoschatting.

ERM-streefwaarde (European River Memorandum)

Voor achtergrondinformatie, zie <https://www.riva-rijn.org/riwa-rijn/european-river-memorandum/>

¹³ Het gaat volgens [Bijlage A](#) van het [Drinkwaterbesluit](#) om de aanduiding 'maximum waarde' en niet 'maximumwaarde' of 'maximale waarde'.

¹⁴ Een drinkwaterrichtwaarde is een gezondheidskundig onderbouwde veilige risicogrens voor een individuele stof in drinkwater die niet wettelijk is vastgelegd. De drinkwaterrichtwaarde voor EDTA is nog indicatief en dat betekent dat deze waarde op basis van een beperkte dataset is bepaald (<https://rvs.rivm.nl/onderwerpen/normen/consumenten/kwaliteitseisen-drinkwater>).

Streefwaarden uit het European River Memorandum

(maximale waarden, tenzij anders vermeld)

Algemene parameters	Eenheid	Streefwaarde
Zuurstofgehalte	mg/l	> 8
Elektrisch geleidingsvermogen	mS/m	70
Zuurgraad	pH	7 – 9
Temperatuur	°C	25
Chloride	mg/l	100
Sulfaat	mg/l	100
Nitraat	mg/l	25
Fluoride	mg/l	1,0
Ammonium	mg/l	0,3
Organische groepsparameters	Eenheid	Streefwaarde
Totale organische koolstof (TOC) ***	mg/l	4
Opgeloste organische koolstof (DOC) ***	mg/l	3
Adsorbeerbare organische halogeenverbindingen (AOX)	µg/l	25
Adsorbeerbare organische zwavelverbindingen (AOS)	µg/l	80
Antropogene natuurvreemde stoffen met uitwerkingen op biologische systemen	Eenheid	Streefwaarde
Pesticiden en hun afbraakproducten, per stof	µg/l	0,1*
Endocrien werkzame substanties, per stof	µg/l	0,1*
Geneesmiddelen (incl. antibiotica), per stof	µg/l	0,1*
Biociden per stof	µg/l	0,1*
Overige organische halogeenverbindingen, per stof	µg/l	0,1*
Geëvalueerde stoffen zonder biologische werking	Eenheid	Streefwaarde
Microbiologisch moeilijk afbreekbare stoffen, per stof	µg/l	1,0
Niet-geëvalueerde stoffen		
(mogelijk tot in het drinkwater doordringende** stoffen, of stoffen die niet-gekaracteriseerde afbraak- en transformatieproducten vormen) per stof	µg/l	0,1
Hygiënisch-microbiologische kwaliteit		
De hygiënisch-microbiologische kwaliteit van het oppervlaktewater moet zodanig worden verbeterd dat een uitstekende zwemwaterkwaliteit zoals bedoeld in EU-richtlijn 2006/7/EG blijvend gegarandeerd is.		

* tenzij als gevolg van voortschrijdend toxicologisch inzicht hier een lagere waarde voor moet worden aangehouden, bijvoorbeeld voor genotoxische substanties

** stoffen die zich niet of niet voldoende laten verwijderen met natuurlijke methoden voor de zuivering van drinkwater

*** tenzij vanwege de geogene verhoudingen hier hogere waarden voor moeten worden aangehouden

De oppervlaktewaterbedrijven houden via de koepelorganisaties RIWA Rijn en RIWA Maas in hun beschouwingen van de waterkwaliteit voor een aantal stoffen ook de streefwaarden uit het European River Memorandum aan. Oppervlaktewater dat voldoet aan de streefwaarden maakt een duurzame bereiding van drinkwater mogelijk met behulp van eenvoudige processen die zo natuurlijk mogelijk van aard zijn. Deze streefwaarden hebben uitsluitend betrekking op de kwaliteit van oppervlaktewater. Het gaat hierbij om de maximaal toelaatbare waarden (maximumwaarden) en deze moeten ook worden aangehouden onder extreme (afvoer)omstandigheden. De waarden staan voor de kwaliteit die minimaal nodig is om de drinkwatervoorziening in de toekomst te waarborgen, waarbij is uitgegaan van het voorzorgprincipe zoals bedoeld in de KRW. De streefwaarden hebben geen betrekking op natuurlijke achtergrondconcentraties.

Esthetische en organoleptische parameters

Esthetische en organoleptische parameters zijn parameters die geen gevaar geven voor de gezondheid, maar veelal direct leiden tot klachten van de consument. Deze parameters brengen afwijkingen voor de smaak en kleur van het drinkwater teweeg en zijn daarin dus uit esthetisch oogpunt niet gewenst. Voorbeelden van deze parameters zijn: kleur, troebeling, ijzer, mangaan en smaak (zie de website van drinkwaterbedrijf Dunea; [aluminium](#), [ijzer](#), [kleurintensiteit](#), [mangaan](#), [sulfaat](#)).

Metingen in drinkwater en het daarvoor bestemde water

Drinkwaterbedrijven dienen met een bepaalde frequentie diverse parameters volgens het

[Drinkwaterbesluit](#) in drinkwater en/of het daarvoor bestemde water inclusief het ruwwater te meten (de zogeheten waterkwaliteitsbeoordeling), conform de eisen zoals die zijn vastgelegd in de ministeriële [Drinkwaterregeling](#). Deze parameters moeten door de Nederlandse drinkwaterbedrijven worden gemeten en vervolgens worden gerapporteerd in een audit-rapport aan de inspectie als toezichthouder (ILT). Om die reden wordt soms het begrip ‘audit’ in de factsheets gehanteerd. Per hoeveelheid geleverd water moet er een keer worden gemeten. Dit varieert voor jaarleveringen van 100 tot 100.000 m³ van 1 tot 13 keer per jaar.

Meetgrens voor een bepalingmethode

Voor elke bepaling (de eventuele voorbehandeling van een monster en de analyse daarvan) van een microbiologische of chemische parameter is er een bepaalde minimale concentratie of hoeveelheid die nog juist betrouwbaar kan worden aangetoond met die bepaling. Hiervoor wordt in de factsheet doorgaans het begrip ‘rapportagegrens’ gehanteerd, maar ook andere begrippen kunnen daarin voorkomen: detectiegrens en -limiet, en analysegrens. Vakinhoudelijk gezien gaat het om onderscheiden begrippen, zie [Omgaan met rapportagegrenzen van concentratiemetingen \(h2owaternetwerk.nl\)](#)

Overschrijding maximum waarde

In het geval de maximum waarde van een bepaalde parameter in drinkwater volgens het [Drinkwaterbesluit](#) (wettelijk referentiekader) wordt overschreden, dient die overschrijding door het betreffende drinkwaterbedrijf te worden gemeld aan de Inspectie Leefomgeving en Transport (ILT), conform de geldende procedure ‘Meldprocedure normoverschrijdingen; Meldprocedure voor normoverschrijdingen in drinkwater of oppervlaktewater voor drinkwaterbedrijven’ (zie de webpagina [Meldingen van normoverschrijding | Drinkwater | Inspectie Leefomgeving en Transport \(ILT\) \(ilent.nl\)](#)).

Zuiveringsprocessen

Bij de bereiding van drinkwater uit grondwater, oevergrondwater of oppervlaktewater worden diverse zuiveringsprocessen toegepast, die in de factsheets onder het kopje ‘Zuivering’ ook worden genoemd. In willekeurige volgorde komen doorgaans een of meer van de volgende processen per factsheet aan de orde: bodempassage of oeverfiltratie, membraanfiltratie (onderscheiden in microfiltratie, ultrafiltratie, nanofiltratie en omgekeerde osmose of RO), beluchting, coagulatie of vlokvorming, flocculatie, snelfiltratie, langzame-zandfiltratie, actieve-koolfiltratie¹⁵, sedimentatie, flotatie, ionenwisseling, (geavanceerde) oxidatie (met ozon, al dan niet in combinatie met UV-licht of waterstofperoxide), elektrodialyse.

Voor achtergrondinformatie over deze zuiveringsprocessen wordt verwezen naar relevante literatuur, bijvoorbeeld ‘Drinkwater – principes en praktijk’ van De Moel, Verberk en Van Dijk.

REWAB-data

Voor de berekeningen ten behoeve van de parameters die op basis van wet- en regelgeving op het gebied van drinkwater daarin moeten worden gemeten zijn meetresultaten uit de REWAB-database gebruikt (zie boven onder het kopje ‘REWAB-database’). Deze gegevens bestaan uit het minimum, maximum, 10-percentiel, 90-percentiel, gemiddelde, en mediaan per jaar en per locatie. Ten behoeve van de factsheets van de Wegwijzer waterkwaliteit is een selectie gedaan voor de jaren 2015 – 2020. Over deze zes jaren zijn de volgende statistieken gegenereerd.

1. Gemiddelde over alle jaren van het percentage locaties waar een parameter is aangetroffen (boven de rapportagegrens (RG) of boven 0, waar relevant)
Hiervoor is de kolom ‘maximum’ gebruikt, omdat dit de maximale concentratie is in een jaar op een locatie. In het geval dit beneden de RG of 0 is, dan is de betreffende parameter niet aangetroffen in dat jaar op die locatie. De percentages aangetroffen per jaar zijn gebruikt om na te gaan of er sprake is van een trend (afnemend of toenemend). Hiervoor is een lineair regressiemodel gefit. Als deze een p-waarde heeft van < 0,05 dan is dat het geval.

¹⁵ Soms wordt hiervoor de aanduiding ‘actief-koolfiltratie’ gehanteerd.

2. Mediaan van de gemiddelde waarden (kolom 'gemiddelde') per locatie en per jaar
Ook hierbij is een trend bepaald (zie vorige punt).
3. Maxima gemeten per jaar en de spreiding over de jaren
Indien van toepassing bij stofgroepen zijn ook de maxima per parameter in de genoemde jaren beschouwd, om een beeld te creëren van de stoffen die in hoge concentratie in een groep kunnen voorkomen.

Referenties

In vrijwel alle factsheets wordt aan een of meerdere literatuurbronnen gerefereerd. Daarbij wordt aangetekend dat het niet gaat om een uitputtende lijst met bronnen, aangezien het om toelichting op een of meer parameters gaat en niet om een (wetenschappelijk) rapport. Als vuistregel geldt dat de belangrijkste bronnen zijn vermeld. Voor documenten met een wettelijk kader ([Europese Drinkwaterrichtlijn](#), [Drinkwaterwet](#), [Drinkwaterbesluit](#), [Drinkwaterregeling](#)) is dat niet gedaan.

Permeatie

Bodemverontreinigende organische stoffen zoals benzeen en andere monocyclische aromatische koolwaterstoffen en gehalogeneerde alifatische koolwaterstoffen kunnen tijdens het transport en de distributie van drinkwater door bepaalde kunststof en rubber (onderdelen van) drinkwaterleidingen permeëren en daarmee de drinkwaterkwaliteit aantasten. Het optreden van dit fenomeen en zo ja, de mate waarin is afhankelijk van de combinatie van het materiaal en de aard van de bodemverontreinigende stof, en daarop wordt (derhalve) in de factsheets niet ingegaan.

Hiervoor wordt verwezen naar de betreffende praktijkcode PCD 5 'De toepassing van leidingmaterialen in met organische stoffen verontreinigde bodems; *Permeatie*' (vigerende editie [PCD 5:2023](#)).



Colofon

Bezoekadres

Bezuidenhoutseweg 12
Den Haag

Postadres

Postbus 90611
2509 LP Den Haag
Telefoon (070) 349 08 50
Email info@vewin.nl

www.vewin.nl

