



Royal Netherlands Academy of Arts and Sciences (KNAW) KONINKLIJKE NEDERLANDSE AKADEMIE VAN WETENSCHAPPEN

Medicijnresten en zoetwaterecologie

van Donk, E.

published in

Jaarboek Diligentia : Natuurkundige voordrachten
2018

document version

Publisher's PDF, also known as Version of record

document license

CC BY

[Link to publication in KNAW Research Portal](#)

citation for published version (APA)

van Donk, E. (2018). Medicijnresten en zoetwaterecologie. In *Jaarboek Diligentia : Natuurkundige voordrachten* (blz. 9-16). (Nieuwe reeks; Vol. 96).. <http://natuurwetenschappen-diligentia.nl/lezingen-archieven-jaarboeken/jaarboeken/>

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the KNAW public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain.
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the KNAW public portal.

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

E-mail address:

pure@knaw.nl

1.1 Medicijnresten en zoetwaterrecologie

Prof. dr. E. (Ellen) van Donk

Afdeling Aquatische Ecologie
Nederlands Instituut voor Ecologie (NIOO-KNAW)
Wageningen

www.nioo.knaw.nl/nl/employees/ellen-van-donk

- Lezing gehouden voor de Koninklijke Maatschappij voor Natuurkunde 'Diligentia' te 's-Gravenhage op 25 september 2017.
- Een video opname van de lezing is te zien op www.natuurwetenschappen-diligentia.nl.
- Deze eerste lezing van het seizoen, onze KENNISMAKINGSLEZING, is vrij toegankelijk voor iedereen. De belangstelling was groot.

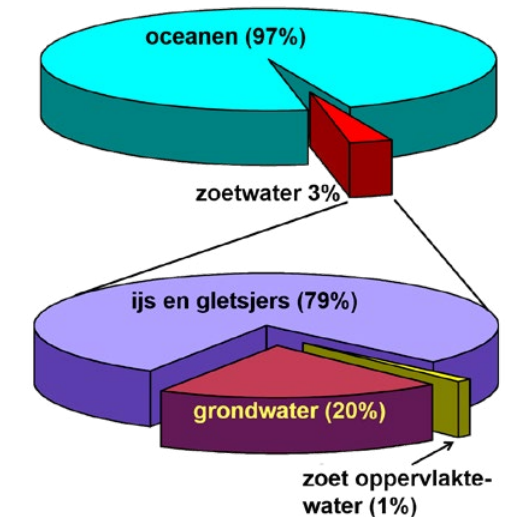
Samenvatting van de lezing:

In het water, net als op het land, kunnen organismen d.m.v. het uitscheiden van signaalstoffen met elkaar communiceren. Deze natuurlijke chemische communicatie via "infochemicaliën" faciliteert bijvoorbeeld het vinden van een partner of het herkennen van een predator. Ook kan als reactie verandering van morfologie of gedrag optreden. Tegenwoordig bevinden zich veel medicijnresten, uitgescheiden door mens en vee, in het oppervlaktewater. Deze breken vaak erg langzaam af en de huidige rioolwaterzuivering is onvoldoende in staat ze te verwijderen. Recent is gevonden dat medicijnresten, via nabootsing of blokkering, de natuurlijke chemische communicatie tussen water-organismen kunnen verstoren, met grote gevolgen voor het functioneren van het gehele ecosysteem. Een effectievere waterzuivering, al dan niet in combinatie met een betere afstemming van medicijngebruik op het lichaam, kan dit sluipende probleem een halt toeroepen. Medicijnen kunnen bijvoorbeeld worden opgevangen of biologisch afbreekbaar gemaakt worden. Er wordt al geëxperimenteerd met alternatieve waterzuiveringen, waarbij o.a. micro-organismen en algen worden ingeschakeld om de medicijnresten uit het afvalwater te verwijderen.

Introductie

Zoetwater heeft zijn oorsprong in neerslag, zoals regen en sneeuw, die via rivieren, beken en het grondwater richting zee stroomt. Ongeveer 97% van het water op aarde bevindt zich in de oceanen en is te zout om als drinkwater of voor landbouw gebruikt te kunnen worden (figuur 1). Dus slechts 3% van al het water op aarde is zoet. Het grootste deel daarvan is niet gemakkelijk bereikbaar. Ongeveer 79% van het zoete water is gevangen in sneeuw en ijs, 20% bevindt zich onder onze voeten als grondwater, en slechts 1% is aanwezig in de vorm van oppervlaktewater in meren en rivieren.

Dat betekent dus dat maar 0,03% van al het water op aarde zoet oppervlaktewater is. Dit water wordt door de mens zeer intensief gebruikt: voor drinkwater, voor recreatie, als kweekvijver voor voedsel, voor bevoeding van gewassen en voor opwekking van energie. Anderzijds lozen we er ons afvalwater op, met daarin, ondanks zuivering, nog steeds sporen van verontreinigingen, waaronder medicijnresten. Door dit intensieve gebruik is er in



Figuur 1: Van het water op aarde is maar een zeer klein deel zoet oppervlaktewater.

veel landen een nijpend tekort aan schoon, zoet oppervlaktewater ontstaan, ook essentieel voor het goed functioneren van water-ecosystemen.

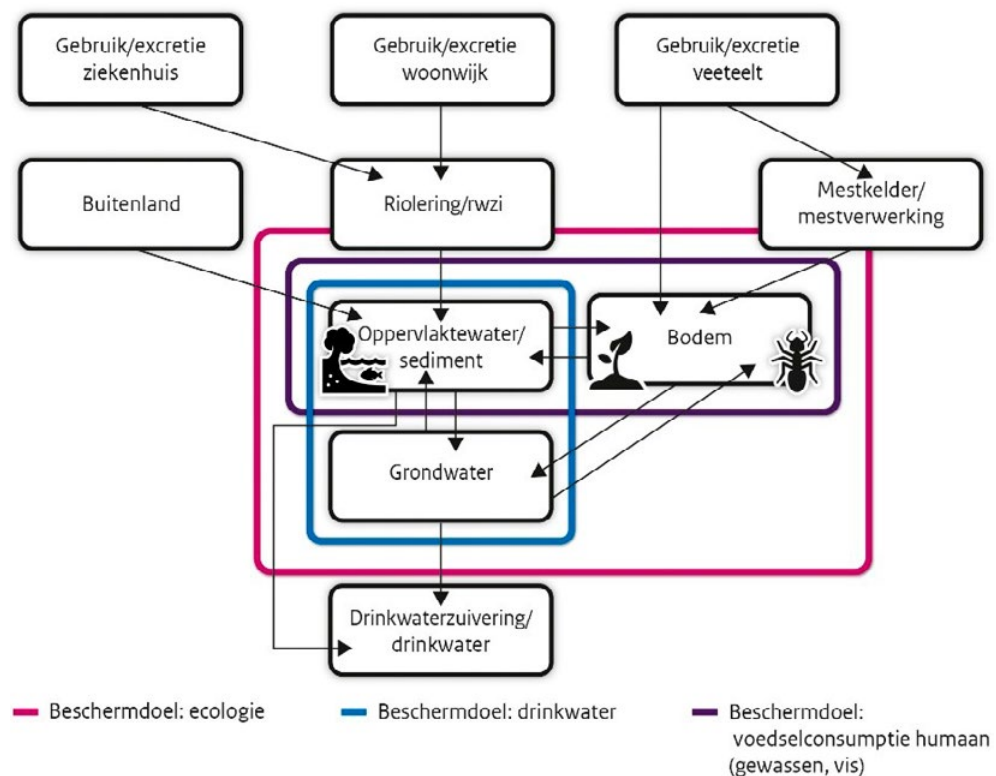
Route van geneesmiddelen naar het oppervlaktewater

Resten van humane geneesmiddelen komen met urine en ontlasting in het afvalwater terecht, vanuit woonwijken, zorginstellingen en ziekenhuizen (figuur 2). De hoeveelheid geneesmiddelen afkomstig van ziekenhuizen en zorginstellingen is momenteel gemiddeld 10% van de totale belasting van de rioolwaterzuiverings-installatie (RWZI) met medicijnresten. Hier worden deze stoffen niet volledig verwijderd, waardoor ze in het milieu (oppervlaktewater, grondwater) terecht kunnen komen. De huidige RWZI's zijn gericht op het verwijderen of afbreken van organische stof en voedingsstoffen en niet specifiek op het verwijderen

van microverontreinigingen zoals medicijnresten. Diergeneesmiddelen, die in de veehouderij worden gebruikt, komen via mest in de bodem terecht: als dieren in de wei lopen of bij het uitrijden van mest uit de stal. De resten hiervan in de bodem kunnen af- en uitspoelen naar oppervlaktewater en grondwater (figuur 2). Ook de emissie van medicijnresten vanuit viskwekerijen kan aanzienlijk zijn.

Er bevinden zich in Nederland enkele productielocaties van geneesmiddelen. Ook deze zijn een bron van medicijn-gerelateerde watervervuiling, maar kwantitatieve gegevens hierover zijn nauwelijks bekend.

Vanuit het buitenland bereiken ons significante hoeveelheden geneesmiddelenresten via de grote rivieren. De hoeveelheden variëren sterk met het type verontreiniging, het instrumende volume en de herkomst van het rivierwater.



Figuur 2: Routes van geneesmiddelen naar oppervlaktewater en grondwater [8].

Geneesmiddelen in het oppervlaktewater

Het totale gebruik van geneesmiddelen in Nederland, met ruim 2000 verschillende actieve stoffen, wordt geschat op ongeveer 3500 ton per jaar. Hiervan komt naar schatting minimaal 140 ton werkzame stof via de riolering in het oppervlaktewater terecht. Ter vergelijking: de emissie van gewasbeschermingsmiddelen naar water is ongeveer 17 ton per jaar [8]. Er is slechts naar een fractie van de mogelijke werkzame stoffen gezocht, waardoor van veel geneesmiddelen niet bekend is in welke concentraties ze voorkomen [8].

Diverse studies tonen de aanwezigheid van geneesmiddelen aan in effluenten van de rioolwaterzuivering (tot 10 µg/L) en het ontvangende oppervlaktewater (gemiddelde waarden tot 1 µg/L, met maxima tot 10 µg/L). In grondwater worden minder geneesmiddelen aangetroffen en in lagere concentraties (van 0,01 tot 0,1 µg/L). Doordat de medicijnresten continu door de RWZI's worden geloosd, zijn deze ook permanent in het water aanwezig.

Ook in Nederlands drinkwater worden geneesmiddelen gevonden. Wanneer ze worden aangetroffen is dit meestal in zeer lage concentraties, beneden 0,05 µg/L [8].

Op basis van de wettelijke verplichting vastgelegd in de Europese Kaderrichtlijn Water vindt monitoring van een (beperkt) aantal farmaceutische stoffen in het oppervlaktewater plaats. De meest voorkomende medicijnresten die worden aangetroffen behoren tot de categorieën antibiotica, antidepressiva, bèta-blokkers, pijnstillers, ontstekingsremmers, hormonen, anti-epilepsiemiddelen en röntgen-contrastmiddelen. Daarnaast is een Europese 'Watch List' opgesteld voor specifieke stoffen die, afhankelijk van de bevindingen (monitoring, gecombineerd met verder onderzoek), bij een volgende herziening van de Kaderrichtlijn Water aan de lijst met prioritair stoffen kunnen worden toegevoegd. Er is een monitoringsverplichting voor stoffen op de Watch List, maar geen milieukwaliteitsnorm. Medicijnresten die hier momenteel

deel van uitmaken zijn o.a. diclofenac (pijnstillert/ontstekingsremmer), ethinylestradiol (hormoon), estradiol (hormoon), erythromycine (antibioticum), clarithromycine (antibioticum), en azithromycine (antibioticum).

Directe en indirecte ecologische effecten

Geneesmiddelen kunnen negatieve effecten hebben op het aquatisch ecosysteem. Dit kunnen directe effecten op individuele organismen zijn, maar ook indirecte effecten, die interacties tussen deze organismen beïnvloeden.

Er is weefschade bij vissen geconstateerd, veroorzaakt door pijnstillers en bèta-blokkers [9]. Ook zijn bij vissen en slakken veranderingen van de voortplanting (feminisering) waargenomen, veroorzaakt door hormonen uit anticonceptiepillen [10]. Antidepressiva blijken het gedrag van vissen, watervlooien en slakken te beïnvloeden [6], en ook is vastgesteld dat ophoping hiervan in visherseen optreedt [1]. Dergelijke individu-gerelateerde effecten kunnen doorwerken op het functioneren van het ecosysteem als geheel. Bijvoorbeeld, de groottes van populaties prooidieren en/of roofdieren kunnen beïnvloed worden. Tot nu toe zijn er overigens geen voorbeelden bekend dat medicijnresten acute sterfte van organismen in het water tot gevolg kunnen hebben.

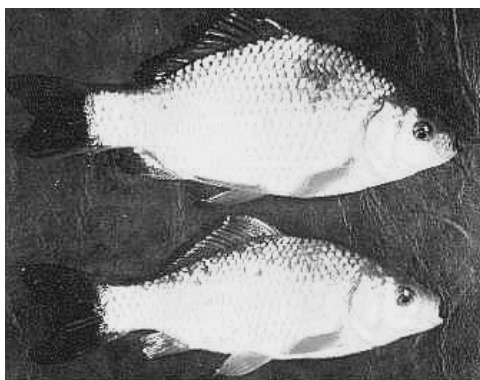
Recent is de invloed aangetoond van medicijnresten op natuurlijke chemische communicatie, de werking van natuurlijke stoffen die organismen uitscheiden en gebruiken om onderling te communiceren [12].

Natuurlijke chemische communicatie in het water

Sinds de jaren tachtig is het steeds duidelijker geworden dat ook in het water, net als op het land, organismen via chemische verbindingen kunnen communiceren. Deze stoffen, die door organismen worden uitgescheiden en vervolgens een reactie in een ander organisme veroorzaken, worden infochemicaliën genoemd [4]. Er zijn twee hoofdgroepen te onderscheiden: *feromonen*, die de communicatie

binnen één soort sturen, en *allelochemicaliën*, verantwoordelijk voor communicatie tussen verschillende soorten. Feromonen spelen onder andere ook een belangrijke rol in de communicatie tussen mensen. Zo blijkt onze partnerkeuze in sterke mate gestuurd te worden door lichaamsgeuren. Natuurlijke chemische communicatie faciliteert dus interacties tussen organismen en zonder dit mechanisme zouden ze niet in staat zijn om o.a. een partner te vinden of een predator te herkennen. Bij waterorganismen kunnen infochemicaliën, die door hun predator worden uitgescheiden, een scala aan veranderingen teweegbrengen waardoor ze zich tegen predatie kunnen verdedigen. Een organisme kan onder andere van vorm veranderen (b.v. stekels krijgen), zijn gedrag veranderen (b.v. wegvluchten), minder smakelijk worden (b.v. giftige stoffen produceren) of minder zichtbaar worden (b.v. verkleuren, klein blijven). We noemen deze aanpassingen fenotypische plasticiteit: organismen met dezelfde erfelijke eigenschappen (genotype) vertonen in verschillende milieus een ander gedrag of uiterlijk (fenotype).

Wat is nu het voordeel van deze geïnduceerde verdediging door infochemicaliën boven permanente verdediging? In de eerste plaats kost verdediging vaak energie en het is daarom voordeliger om zich alleen te verdedigen als de vijand aanwezig is. In de tweede plaats geeft inductie de prooi ook de



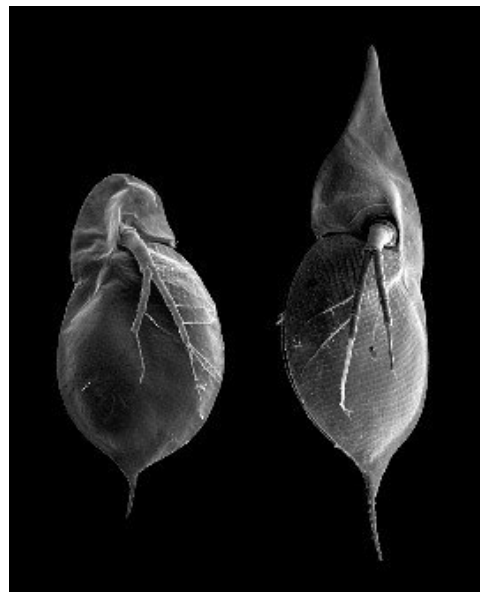
Figuur 3: Kroeskarpers met geïnduceerde hoge rug (bovenste vis) en normale vorm (onderste vis).

Foto: C. Brönmark

mogelijkheid een scala aan verdedigingsmechanismen te gebruiken tegen verschillende soorten predatoren. Studie naar het wel of niet permanent zijn van verschillende verdedigingsmechanismen, en waarom dat zo is, is een belangrijk evolutionair-ecologisch onderzoeksgebied. Naast verdediging kunnen infochemicaliën ook zorgen voor aantrekkingskracht tussen organismen.

Hieronder volgt een aantal voorbeelden van door infochemicaliën geïnduceerde verdediging en aantrekkingskracht in waterorganismen. De veranderingen zijn goed beschreven, maar de structuur van infochemicaliën is vaak nog onbekend.

Brönmark en Hansson [3] observeerden dat de kroeskarper in twee fenotypen kan voorkomen: slanke karpers en karpers met een hoge rug (figuur 3). Alleen in wateren waar roofvissen zoals de snoek aanwezig zijn, hebben de kroeskarpers een hoge rug. Deze verandering kon in het laboratorium geïnduceerd worden met water waarin een snoek had gezwommen. De karpers met hoge rug



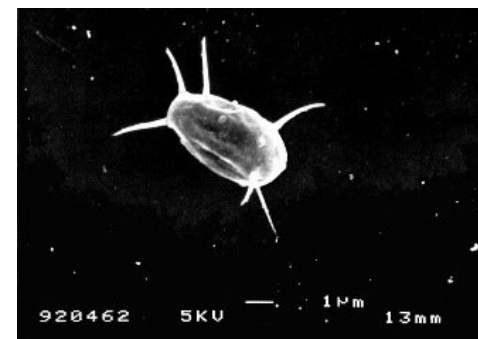
Figuur 4: De watervlo *Daphnia cucullata*. Links het gewone fenotype, rechts het fenotype met geïnduceerd helmvormig uitgroei. Foto: R. Tollrian

zijn voor de snoeken moeilijker grijpbaar, maar deze vorm zorgt wel voor een verhoogd energieverbruik bij het zwemmen. Deze aanpassing is daarom voor de karper nadelig als permanente verdediging.

Ook bij zoöplankton zien we fenotypische plasticiteit onder invloed van infochemicaliën. Bij de watervlo, *Daphnia cucullata*, induceren muggenlarven puntvormige uitgroei, zogenaamde helmen, waardoor ze minder worden gegeten (figuur 4).

Dit zijn twee voorbeelden van geïnduceerde morfologische veranderingen om predatie te voorkomen.

In diepe meren is uitgebreid onderzoek gedaan aan gedragsveranderingen in de planktongemeenschap. Watervlooien, die zich normaal overdag op een diepte van ongeveer 3 tot 4 meter bevinden, en 's nachts naar boven zwemmen onder invloed van lichtveranderingen, gaan soms vanaf eind mei tot begin juli overdag naar een grotere diepte. Dit gebeurt alleen als er veel jonge vis in het voorjaar aanwezig is. Het leefgebied van de jonge vis gaat niet dieper dan 7 meter en we zien dat de vlooien daaronder blijven. De dagelijkse verticale migratie van de vlooien wordt dus in aanwezigheid van infochemicaliën van jonge vis versterkt. De vlooien zwemmen dan al voor zonsopgang omlaag en voorkomen zo predatie door de visueel jagende vissen. Niet alleen dieren maar ook algen (fytoplankton) kunnen zich via inductie tegen predatie verdedigen. De groenalg *Scenedesmus subspicatus* is ééncellig. Zij vormen echter grote kolonies tot

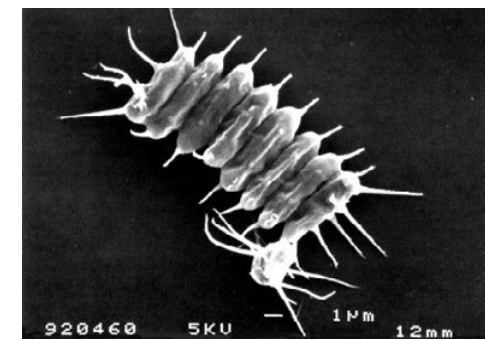


Figuur 5: De groenalg *Scenedesmus subspicatus* als 1-cellige (l) en als 8-cellige kolonies die worden geïnduceerd door Daphnia-water (r).

Foto's: Van Donk et al. [11]

wel 8 cellen wanneer ze in aanraking komen met water waarin watervlooien hebben gezwommen (figuur 5) [11]. De kolonies worden dan zo groot dat ze niet meer door het kleine zoöplankton kunnen worden gegeten. Watervlooien blijken alifatische sulfaten uit te scheiden, die deze kolonievorming kunnen induceren [14]. Het is een efficiënt verdedigingsmechanisme, maar het is nog niet duidelijk hoe algemeen dit fenomeen is. Tot nu toe is het slechts gevonden bij groenalgen.

Fytoplankton kan zich ook verdedigen door giftig (giftig) te worden. Toxiche algen komen vaak in het nieuws omdat een opbloei vissterfte tot gevolg kan hebben. Verder kunnen ze ook gevaarlijk zijn voor de mens. In het zoete water zijn het met name cyanobacteriën, ook wel blauwalgen genoemd, die in de zomermaanden massaal kunnen opkomen en giftige stoffen kunnen produceren. Ze zijn giftig voor watervlooien en andere waterorganismen die op ze grazen, zoals de larven van driehoeksmosselen. Of deze aanvallers ook gifstoffen in de algen kunnen induceren is niet bekend. Parasieten op algen, zoals chytride schimmels, spelen mogelijk wel een rol bij de inductie van gifstoffen. Zo weten we dat sommige kiezelalgen, die door deze parasitaire schimmels worden belaagd, een schimmel-dodende stof kunnen aanmaken. Verder onderzoek moet inzicht geven of hier sprake is van een verdediging tegen infectie. Het spreekt voor zich dat kennis over de inductie van giftige stoffen



in algen van groot belang kan zijn voor het beheer van meren.

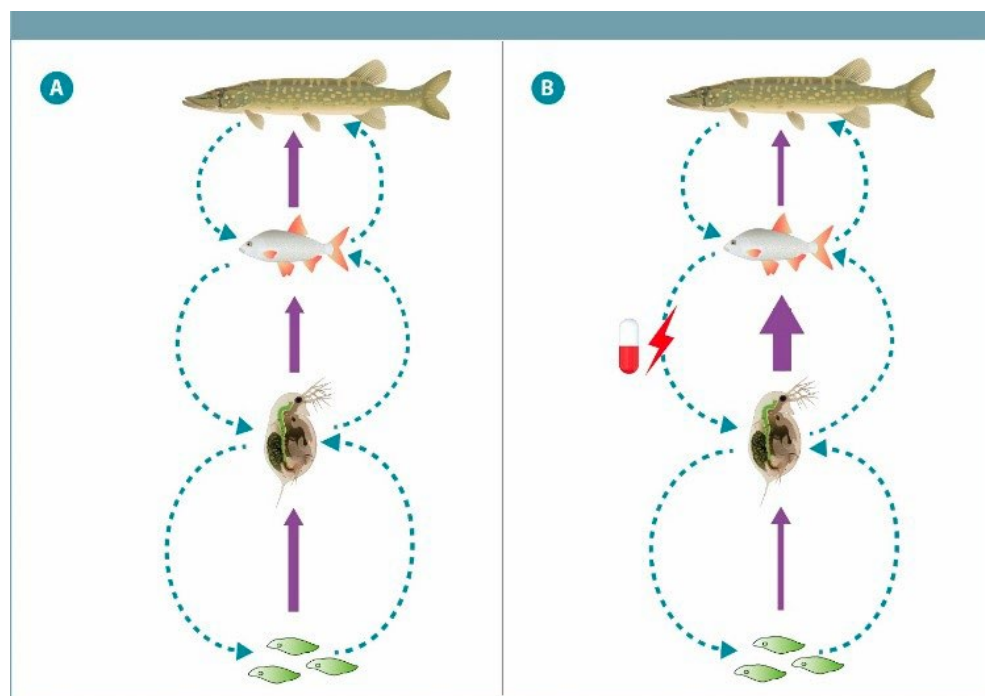
Experimenten laten sterke schommelingen, en zelfs uitsterven, van organismen zien in voedselketens met onverdedigde organismen, terwijl die met inducerbaar verdedigde organismen aanzienlijk stabiel zijn [13]. Dit geeft aan dat natuurlijke chemische communicatie de stabiliteit van het systeem doet toenemen door onderdrukking van sterke populatieschommelingen en zo het voortbestaan van soorten kan bevorderen.

Er zijn ook voorbeelden van door infochemicaliën geïnduceerde aantrekking in waterorganismen. Zo zwemmen watervlooien actief naar eetbare algen en worden de giftige gemeden. Ook vinden veel water-organismen hun partner met behulp van signaalstoffen.

Deze voorbeelden maken duidelijk dat de interacties tussen waterorganismen zeer complex zijn en dat de populatiedynamica mede gestuurd wordt door een netwerk van infochemicaliën. Verstoring van deze chemische communicatie kan grote gevolgen hebben voor het functioneren van het gehele aquatische ecosysteem.

Verstoring van de natuurlijke communicatie: infodisruptie

Een toenemend aantal studies laat zien dat geneesmiddelen al bij heel lage concentraties, zoals die in het oppervlaktewater kunnen voorkomen, vanwege hun vaak specifieke eigenschappen de natuurlijke chemische communicatie kunnen beïnvloeden [12] (figuur 6). Zo kan het antidepressivum fluoxetine kuitschieten bij zebra-mosselen induceren. Dit gebeurt anders alleen in de aanwezigheid



Figuur 6: (A) Een typische voedselketen waarin energie (voedsel via gevulde pijlen) gaat van de algen (primaire producenten), via watervlooien (herbivoren), plankton-etende vissen (primaire consumenten) naar toppredatoren (vis-etende vissen). Binnen en tussen de trofische niveaus vindt er informatie-uitwisseling plaats via infochemicaliën (gestippelde pijlen). (B) Verstoring van de natuurlijke chemische communicatie kan leiden tot veranderingen in de voedselrelaties (dikte van de gevulde pijlen) en uiteindelijk tot veranderingen in het ecosysteem.

van een infochemicalie afkomstig van een partner-mossel [7]. Bij zoetwaterslakken kunnen de antidepressiva venlafaxine en citalopram ervoor zorgen dat hun voet losraakt van het substraat. Dit vindt normaal alleen plaats wanneer er een predator aanwezig is [5]. Dit zijn twee voorbeelden van nabootsing. Ook blijken medicijnresten natuurlijke communicatie te kunnen blokkeren. Dit gebeurt bijvoorbeeld bij de metamorfose van larven van de roze vleugelhoorn (*Strombus gigas*), een tropische zeeslak. Deze wordt gestuurd door infochemicaliën, uitgescheiden door het roodwier *Laurencia poitei*. De pijnstiller acetylsalicylzuur kan de natuurlijke inductie van deze metamorfose blokkeren [2]. Bij de Amerikaanse dikkop-elrit (*Pimephales promelas*), een zoetwatervis, zien we dat de larven onder invloed van antidepressiva, zoals fluoxetine, sertraline, venlafaxine en bupropion, geen adequaat vluchtgedrag meer vertonen als reactie op de aanwezigheid van hun predator.

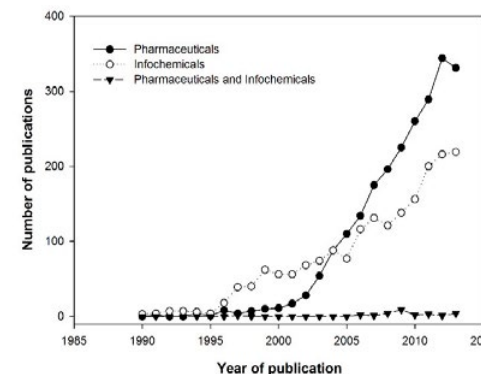
Dit zijn slechts enkele observaties van infodisruptie in het water door medicijnresten. Het is duidelijk dat we pas aan het begin staan van het bestuderen van dergelijke verstoringen. Dat blijkt ook wanneer we zien hoe weinig ecologische publicaties zowel de sleutelwoorden infochemicaliën

als geneesmiddelen in hun tekst hebben staan, in vergelijking met de publicaties waar deze woorden afzonderlijk in voorkomen (figuur 7).

Conclusies en toekomst

Er zijn duidelijke aanwijzingen dat medicijnresten door hun structurele en functionele gelijkenis met infochemicaliën, zelfs bij heel lage concentraties zoals nu in het oppervlaktewater voorkomen, de natuurlijke chemische communicatie tussen organismen kunnen nabootsen of blokkeren. Bij de zuivering van drinkwater lukt het redelijk om de meeste medicijnresten tot op zekere hoogte uit het water te verwijderen. Ozon en UV-straling kunnen de medicijnen in het water grotendeels afbreken en om de laatste resten eruit te halen worden zandfilters met actief kool gebruikt. Deze uitgebreide zuiveringsmethoden zijn echter erg duur. De kosten zullen met honderden miljoenen per jaar gaan stijgen als alle rioolwaterzuiveringsinstallaties in Nederland met ozon, UV en kool zouden moeten gaan zuiveren. Het is veel beter om ervoor te zorgen dat medicijnresten de rioolwaterzuivering niet bereiken. Vooral zou het water afkomstig van "medicijnen-hotspots", zoals ziekenhuizen, gezuiverd moeten worden voordat het in het riool verdwijnt. Er wordt al geëxperimenteerd met alternatieve waterzuivering in woonwijken, waarbij micro-organismen en algen worden ingeschakeld om de medicijnresten uit het afvalwater te verwijderen. Verder moeten patiënten zich bewuster worden dat ongebruikte medicijnen bij een verzamelpunt (apotheek) dienen te worden ingeleverd, i.p.v. weggooien in toilet of prullenbak.

Ook vermindering van de hoeveelheid diergeneesmiddelen die, afkomstig van de veehouderij, het grond- en oppervlaktewater bereiken verdient aandacht. Ontwikkeling van beter afbreekbare en/of minder versturende medicijnen is ook een wenselijke richting. Er wordt momenteel op aangedrongen om, net als voor andere verontreinigingen, zoals pesticiden, ook voor medicijnresten tot een betrouwbare normering te komen. Maar dan moet men weten bij welke waarden er geen nadelige effecten meer zijn voor het functioneren van het



Figuur 7: . Analyse van de gepubliceerde literatuur gebaseerd op de combinaties van sleutelwoorden "pharmaceuticals", "infochemicals", "chemical cues" (de laatste twee samengevoegd in de figuur als infochemicals) met zowel "aquatic", "marine" als "freshwater" in verschillende databestanden [Web of Science en Scopus] [12].

aquatische ecosysteem. Dat is vrijwel onmogelijk want er zijn meer dan 2000 verschillende werkzame stoffen en niet alleen deze stoffen maar ook hun afbraakproducten en combinaties van medicijnresten en andere microverontreinigingen, zoals pesticiden, hebben een versturende werking. Het is echter nooit helemaal te vermijden dat er medicijnen via urine en ontlasting in het oppervlaktewater belanden. Het is naar mijn mening aan te bevelen om goede bioassays met aquatische organismen te ontwikkelen die tijdig verstoringen van de natuurlijke chemische communicatie in het oppervlaktewater kunnen detecteren, zodat men dan nader onderzoek kan doen naar de aanwezigheid van deze versturende stoffen.

Referenties

1. Arnnok P. et al., 2017, *Selective Uptake and Bioaccumulation of Antidepressants in Fish from Effluent-Impacted Niagara River*, Environ. Sci. Technol., 51 (18): 10652–10662.
2. Boettcher A.A., Target N.M., 1998, *Role of chemical inducers in larval metamorphosis of queen conch, Strombus gigas Linnaeus: relationship to other marine invertebrate systems*, Biol Bull. 194:132–142.
3. Brönmark C., Hansson L.-A., 2012, *Aquatic chemical ecology: new directions and challenges for the future*. In: Bronmark C, Hansson L-A (eds), *Chemical ecology in aquatic systems*, Oxford University Press, New York, NY.
4. Dicke M., Sabelis M.W., 1988, *Infochemical Terminology: Based on Cost-Benefit Analysis Rather than Origin of Compounds?*, Functional Ecology 2(2): 31-139.
5. Fong P.P., Hoy C.M., 2012, *Antidepressants (venlafaxine and citalopram) cause foot detachment from the substrate in freshwater snails at environmentally relevant concentrations*, Mar. Environ. Res. 45:145–153.
6. Hedgespeth M.L. et al., 2014, *Ecological implications of altered fish foraging after exposure to an antidepressant pharmaceutical*, Aquatic Toxicology 151: 84–87.
7. Lazzara R. et al., 2012, *Low environmental levels*

of fluoxetine induce spawning and changes in endogenous estradiol levels in the zebra mussel Dreissena polymorpha, Aquatic Toxicology 106:123–130.

8. RIVM, 2016, Moermond C.T.A. et al., *Geneesmiddelen en waterkwaliteit*, RIVM-briefrapport 2016-0111.
9. Triebkorn R. et al., 2007, *Ultrastructural effects of pharmaceuticals (carbamazepine, clofibrilic acid, metoprolol, diclofenac) in rainbow trout (Oncorhynchus mykiss) and common carp (Cyprinus carpio)*, Analytical and Bioanalytical Chemistry, Volume 387, Issue 4, pp 1405–1416.
10. Tyler R., Jobling S., 2008, *Roach, Sex, and Gender-Bending Chemicals: The Feminization of Wild Fish in English Rivers*, BioScience, Volume 58, Issue 11, 1051–1059.
11. Van Donk E. et al., 2011, *Induced defences in marine and freshwater phytoplankton: a review*, Hydrobiologia 668: 3–19.
12. Van Donk E. et al., 2016, *Pharmaceuticals may disrupt the natural chemical information flows and species interactions in aquatic systems. Ideas and perspectives on a hidden global change*, Reviews of Environmental Contamination and Toxicology 238: 91-105.
13. Verschoor A.M. et al., 2004, *Inducible defences prevent strong population fluctuations in bi- and tritrophic food chains*, Ecology Letters 7(12): 1143-1148.
14. Yasumoto K. et al., 2005, *Aliphatic sulfates released from Daphnia induce morphological defense of phytoplankton: isolation and synthesis of kairomones*, Tetrahedron Letters 46: 4765–4767.

1.2 Water aan het grensvlak

Prof. dr. ir. R.G.H. (Rob) Lammertink

Soft matter, Fluidics and Interfaces
Universiteit Twente

www.utwente.nl/en/tnw/sfi

- Lezing gehouden voor de Koninklijke Maatschappij voor Natuurkunde 'Diligentia' te 's-Gravenhage op 9 oktober 2017.
- Een video opname van de lezing is te zien op www.natuurwetenschappen-diligentia.nl.

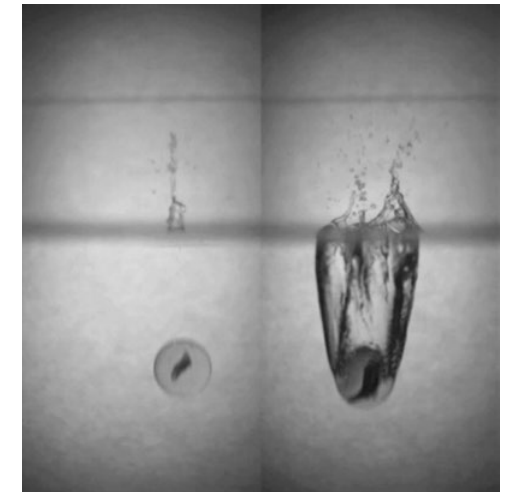
Samenvatting van de lezing:

Schoon (drink)water behoort tot één van de grote uitdagingen van dit moment. Zoetwaterbronnen zijn vaak niet toereikend in gebieden met een hoge bevolkingsdichtheid. Daarnaast vragen nieuwe verontreinigingen continu om verbeterde en innovatieve processen om water te reinigen (zie bijv. het artikel van prof. Van Donk op pagina 5). Voor dergelijke zuiveringsprocessen spelen membranen een grote rol. Ook zijn er methoden om water met behulp van katalysatoren te ontdoen van verontreinigingen.

Tijdens de lezing werd een overzicht gegeven van onderzoek op deze gebieden. Daarbij spelen materiaalkundige en proceskundige aspecten een belangrijke rol. Naast het belang van de stroming van water is er de invloed van de grensvlakken van het membraan. De wisselwerking die zich daar op microscopische schaal afspeelt, is van grote invloed op het uiteindelijke succes van deze belangrijke zuiveringsprocessen. Ten slotte werd ingegaan op de werking van katalysatoren hierbij.

Introductie

Water, met name schoon drinkwater, is één van de meest cruciale levensbehoeften voor mens, dier en natuur. Hoewel er globaal gezien voldoende zoet water is, zijn er vele lokale plekken waar een tekort is aan kwalitatief goed drinkwater. Binnen een onderzoekscluster aan de Universiteit Twente wordt membraanwetenschap bedreven en membraantechnologie ontwikkeld die toepassingen vindt in waterbehandeling. Een membraan is een selectieve barrière, die gebruikt kan worden om te scheiden. Deze scheiding kan gebaseerd zijn op verschillende aspecten, zoals (deeltjes) grootte, lading, affiniteit, etc. In ons cluster houden we ons bezig met aspecten van klein tot groot, van moleculair niveau tot en met proces-ontwerp, dus van nanometer tot meters. Hier wil ik specifiek ingaan op de interactie tussen vloeistof (water) en membraan. Deze interactie heeft grote invloed op de stroming langs het membraan, wat op zijn beurt het scheidingsproces weer beïnvloedt. Ook de invloed van oppervlakte eigenschappen zijn van groot belang bij stromingen, zie figuur 1.



Figuur 1: Een hydrofiele (links) en hydrofobe (rechts) knikker die met dezelfde snelheid in water vallen.