

# VU Research Portal

## De wereld als laboratorium

de Boer, Jacob

2022

### **document version**

Publisher's PDF, also known as Version of record

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

### **citation for published version (APA)**

de Boer, J. (2022). *De wereld als laboratorium: over stoffen die niet gemaakt hadden moeten worden*.

### **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 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 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:**

[vuresearchportal.ub@vu.nl](mailto:vuresearchportal.ub@vu.nl)

prof.dr. Jacob de Boer

## DE WERELD ALS LABORATORIUM

*Over stoffen die niet gemaakt hadden moeten worden*

Rede uitgesproken bij zijn afscheid als hoogleraar Environmental Chemistry and Toxicology bij de Faculteit van Bètawetenschappen van de Vrije Universiteit Amsterdam op vrijdag 22 april 2022.

# DE WERELD ALS LABORATORIUM

## 1. Inleiding

Mijnheer de rector, dames en heren,

“Beste Jacob, je zult in je leven nog heel wat nare boodschappen moeten verkondigen”. Dat zei Imre Somochyi van de NCRV tegen mij op een door het RIVO georganiseerde mediatraining, ergens in de vorige eeuw. Niet dat ik toen verwachtte ooit iets te moeten zeggen op radio of TV maar een cursus is altijd nuttig, zo dacht ik toen. Ik zeg dat nu hier omdat de boodschap van vandaag ook niet vrolijk is. Ik moet u er daarom op wijzen dat noch ik noch de Vrije Universiteit verantwoordelijk zijn voor eventuele behandelingskosten van opkomende gevoelens van depressiviteit na afloop van deze lezing.

Ik heb mij bijna een halve eeuw bezig gehouden met het meten van verontreinigende stoffen in het milieu en de interpretatie van de resultaten van die metingen. In de wetenschappelijk sessie die vanochtend werd gehouden is vooral stilgestaan bij de analytische aspecten van dat werk: hoe meten we die stoffen? Dat thema komt vanmiddag minder aan de orde maar ik zal wel kort stilstaan bij de fantastische ontwikkelingen op dat gebied.

Er zijn veel chemische stoffen die het milieu kunnen vervuilen, maar ik heb me in het bijzonder gericht op koolwaterstoffen die halogenen bevatten: fluor, chloor, broom en jodium. In het periodiek systeem, de basis van de scheikunde, staan deze atomen vanwege gelijke kenmerken onder elkaar gerangschikt. Uit de eindeloze combinaties die we in de organische chemie kunnen maken is de combinatie van koolstof en een halogeen een bijzonder interessante gebleken. Door de sterke binding tussen het koolstof en het halogeen atoom ontstaan stoffen die bijzonder aantrekkelijke eigenschappen hebben. Nu is jodium, vanwege de relatief grote afmetingen van het jodium atoom, daarvoor de minst geschikte. Koolstof-jodium verbindingen zijn daarom voor de industrie niet erg aantrekkelijk. Ze worden bij mijn weten alleen in zonnecellen gebruikt en voor het milieu vormen ze voorsnog geen bedreiging. Anders is het met de drie andere halogenen: broom kent een belangrijke toepassing in brandvertragende stoffen zoals polybroomdifenylethers (PBDE's), hexabroomcyclododecaan, tetrabroombisfenol-A en nog zeker 70 andere brandvertragers. Die stoffen zitten in tientallen gewichtspercentages in materialen in computers, televisies en meubilair. Het broomatoom is nog relatief groot maar chloor is kleiner. Als gevolg van een daardoor sterkere binding aan het koolstofatoom zijn er heel veel gechloteerde producten geproduceerd, van bestrijdingsmiddelen als DDT en dieldrin, tot aan industriële stoffen als polychloorbifenylen (PCB's) en gechloteerde paraffines. Gechloteerde dioxines en furanen hebben de wereld veel overlast bezorgd. Die extreem giftige stoffen ontstaan spontaan in onzorgvuldig geconstrueerde vuilverbrandingsinstallaties. Door hun zeer hoge toxiciteit en hun voorkomen in voedsel hebben ze veel problemen veroorzaakt. Te denken valt aan de Belgische dioxinecrisis in 1999, de Lickebaert affaire in Nederland en een aantal andere crises. Gelukkig was daar altijd de onovertroffen Wim Traag op het RIKILT die met zijn

massaspectrometers deze heel speciale stoffen bijzonder nauwkeurig en snel wist te identificeren en te kwantificeren.

Uiteindelijk kom ik dan bij fluor uit. Fluor is het kleinste halogeenatoom en de binding met koolstof is extreem sterk. Dat leidt tot een hoge persistentie: er is geen bacterie die geïnteresseerd is om dat soort moleculen af te breken. Op Princeton in de Verenigde Staten werd er één gevonden, maar die leeft alleen bij heel speciale omstandigheden, zodat we daar bij de sanering nog niet veel aan hebben. Fluor werd bekend vanwege de toepassing in chloor-fluor koolwaterstoffen of CFK's, kleine moleculen die werden gebruikt om onze koelkasten op lage temperatuur te houden maar na vrijkomen uit weggegooide koelkasten wel de ozonlaag bleken aan te tasten. Het Montreal protocol heeft ervoor gezorgd dat er alternatieven werden gevonden, al zijn die ook niet allemaal van onbesproken gedrag (Flerlage et al., 2018). De laatste jaren hebben vooral de zogenaamde PFAS naam gemaakt in het milieuonderzoek. Omdat ze niet afbreken worden ze ook 'For ever chemicals' genoemd (Allen, 2018). Deze per- en poly gefluoreerde alkyl verbindingen kennen een zeer uitgebreide reeks van toepassingen. Ten eerste worden ze toegepast bij met produceren van Teflon®. Teflon® werd aanvankelijk op Amerikaanse tanks toegepast omdat het zo mooi vuilafstotend was. Daarna bedacht iemand dat het ook handig zou zijn voor de Amerikaanse huisvrouw en werd de bekende Tefal® anti-aanbakpan geboren. Daarnaast worden diverse PFAS stoffen gebruikt in fast food verpakkingen, in bakpapier, cosmetica, skiwax, brandblussers, lijmen, meubilair, tapijten, regenkleding, tandartsbenodigdheden, etc. Deze PFAS zijn niet alleen persistent, maar vaak ook bioaccumulatief en toxisch in zeer lage gehalten. We noemen ze daarom PBT stoffen: persistent, bioaccumulatief en toxisch. Tegenwoordig wordt daar ook vaak een M van mobiel aan toegevoegd. Deze stoffen verspreiden zich namelijk over de wereld met een beweging van de evenaar af. We noemen dat het grasshopper- ofwel sprinkhaaneffect (Gouin et al., 2004). Door verdamping en weer uitregenen hoppen deze stoffen richting de polen. Omdat deze PBT stoffen veel meer geproduceerd en gebruikt worden op het dichter bevolkte noordelijk halfrond worden ze in hogere gehalten gevonden in onze streken. De Stockholm Conventie van de Verenigde Naties is begin deze eeuw opgericht om aan de productie en het gebruik van deze stoffen, ook wel POPs of persistent organic pollutants genoemd, een einde te maken.

## **2. Silent Spring - Had Rachel Carson gelijk?**

Ik begon met mijn werk aan chloorkoolwaterstoffen op het Rijks Instituut voor Visserijonderzoek (RIVO) in IJmuiden, tegen een voor die tijd redelijke vergoeding van 814 gulden per maand, omdat ik nog in opleiding was. Er was zorg bij het toenmalige Ministerie van Landbouw en Visserij over de consumptie van visserijproducten die mogelijk besmet zouden zijn met DDT en aanverwante stoffen. Het was twee jaar na het verschijnen van het rapport 'Grenzen aan de Groei' van de Club van Rome, nu precies vijftig jaar geleden en twaalf jaar na het verschijnen van het boek 'Silent Spring' van Rachel Carson. Ik had mijn opleiding samen met IVM promovendus Albert Moerkerken genoten aan een nieuwgeboren HBO opleiding die deels gevestigd was op het terrein van het huidige Tata Steel. Eén ding was mij tijdens die opleiding heel duidelijk geworden: ik zou niet op dat fabrieksterrein gaan

werken. De berichten van de Club van Rome en een aanbod van het RIVO zorgden ervoor dat ik in het milieuonderzoek terecht kwam op een moment dat het woord milieu nog maar net was uitgevonden. Mijn omgeving dacht daarom jarenlang dat ik vis onderzocht, terwijl ik was gegrepen door het verhaal van Rachel Carson die een stille lente voorspelde omdat vogels door DDT gebruik zouden uitsterven. Geïnspireerd door Mia Kerkhoff en Paul Hagel heb ik daar fantastische jaren beleefd. We ontwikkelden gaschromatografische analysemethoden en we vonden erg hoge gehalten aan DDT, dieldrin en PCB's in paling en kabeljauwlever. Een aalscholver uit de Biesbosch had zelfs grammen per kilogram broomverbindingen in zijn lever.

Op de meest vervuilde plekken, of het nu met PCB's is of PFAS of PBDE's, komen we zulke gehalten nu niet meer tegen. Ik herinner me een opmerking van mijn Canadese collega Derek Muir tijdens een vergadering bij de Verenigde Naties aan het begin van dit millennium. Hij zei: "We hebben ons werk zo goed gedaan dat de problemen met dit soort stoffen de wereld uit zijn". Helaas bleek dat te optimistisch. Maar in de jaren negentig werden monitorprogramma's wel weg gesaneerd. Ik herinner me een telefoontje van een ambtenaar van het Ministerie van LNV tijdens de Belgische dioxinecrisis in 1999 die graag de actuele PCB-gehalten in Nederlandse vis wilde weten. Ik moest hem antwoorden dat LNV zelf het monitorprogramma had opgedoekt en de laatst bekende gehalten van 1992 waren. Zelfs Professor Jan Koeman, de 'ontdekker' van gehalogeneerde koolwaterstoffen in Nederland zei halverwege de jaren negentig tijdens een visitatie van het RIVO wat zuur dat mijn onderzoek nu toch wel op zijn eind liep. Echter, ondanks het verbod op DDT, dieldrin en andere chloorhoudende bestrijdingsmiddelen en het verbod op PCB's, bleken er andere stoffen, met een vergelijkbare structuur maar met een industriële toepassing, te bestaan waarvan de gehalten weer aan het stijgen waren in het milieu en in onszelf. Wij troffen, samen met Jan Boon van het NIOZ, de broom-brandvertragers PBDE's aan in potvissen en konden het in Nature publiceren (de Boer et al., 1998). Tegelijk liet Koidu Noren van het Karolinska Instituut in Stockholm zien dat waar de PCB's in Zweedse moedermelk aan het dalen waren, de PBDE's exponentieel opliepen (Meyronité et al., 1999). Een nieuw onderzoeksveld was geopend. Dat leidde uiteindelijk tot een verbod op de productie van drie broombrandvertragers.

Was dat een succes? Dat dachten we wel, maar dat was het niet. Want hoe creatief is de chemische industrie? Eén atoompje veranderd in het molecuul en met de zo gemaakte nieuwe broombrandvertragers kon het verbod gemakkelijk worden omzeild (de Boer and Stapleton, 2019). Dankzij betere meetmethoden en de ontwikkeling in de massaspectrometrie konden we wel meer stoffen detecteren. Het bestrijdingsmiddel toxafeen, dat in Amerika werd geproduceerd en vooral in de katoenteelt werd gebruikt, gehalogeneerde fosfor-brandvertragers, de al genoemde PFAS, chloorparaffinen. We waren en zijn er nog lang niet klaar mee.

Had Rachel Carson dan gelijk met haar 'Silent Spring'? In De Volkskrant van 3 november afgelopen jaar verscheen dit stuk: 'De lente is stil geworden, vogelzang in Europa en Noord-Amerika de laatste 25 jaar sterk afgenomen'. In een artikel in Nature beschrijven de onderzoekers hoe ze met behulp van telgegevens en 'geluidslandschappen' op 200.000

duizend locaties voor 1000 zangvogels een dalende trend zagen in de akoestische complexiteit van de 'soundscapes'. Oftewel: het is stiller geworden, er zijn minder vogels en minder soorten. Omdat er weinig geluidsonderzoekers in de zaal zijn – in elk geval van één ben ik zeker – zullen sommigen onder u wellicht wat bedenkelijk kijken bij het vernemen van de gebruikte methode. Maar het komt wel opvallend dicht bij Carson's voorspelling.

En laten we dan ook eens naar de vissen kijken. Waar is de paling gebleven? Hoe kon die vissoort op de lijst van bijna uitgestorven dieren terecht komen? Veel vissen hebben een vetgehalte van een paar procent en paaien op hun eigen locatie. Paling heeft echter vetgehalten van 5-40% en reist de halve wereld over om zich voort te planten. Samen met Guido van den Thillart en Victor van Ginneken uit Leiden, en Tinka Murk en Corine Houtman onderzochten we of de dioxines en PCB's mogelijk zoveel invloed zouden op de wegtrekkende schieraal dat zij hun eindbestemming, de Sargaso Zee niet mee zouden halen en daarom niet meer zouden paaien. De mooie zwemtunnels die in Leiden waren gebouwd vroegen echter teveel van de schieraal en zij gaven al de geest voor zij Afrika hadden bereikt. Samen met mijn Belgische collega Claude Belpaire schreven Paul Hagel en ik een artikel dat qua titel alle andere verslaat: "Decreasing eel stocks – survival of the fattest". Maar ook daarin stond het antwoord niet. Was de hypothese misschien verkeerd? Ging het er wel om of de schieralen hun bestemming niet haalden of ging het om de overdracht van de PCB's naar de palinglarven die als glasaaltjes weer terug naar Nederland komen? Palstra et al. (2006) stelden dat na experimenten met gekweekte aal. Een artikel dat wellicht te weinig aandacht heeft gekregen. Maar waren het wel de PCB's en dioxines? De daling in de palingstand kwam wel laat, gegeven de piek aan PCB-gehalten begin jaren zeventig. Zijn het niet de PFAS die het doen? Die binden immer sterk aan eiwit en zouden weleens zeer toxisch voor de paling larven kunnen zijn en zo het uitsterven van de paling voor hun rekening nemen. Een mooi nieuw promotieonderzoek? Of iets voor gepensioneerde hoogleraren, zoals collega Van Straalen die tegenwoordig ook in paling doet.

Een andere vis waarin wij langjarig het PCB-gehalte hebben gemonitord is de kabeljauw. Een magere vis, met in het visvlees nog geen 1% vet. Maar: wel 50-60% vet in de lever met dus schrikbarend veel PCB's. Ik zie nog de schrik in de ogen van Ron Hoogenboom van het RIKILT toen hij voor het eerst de PCB en dioxinegehalten in kabeljauwlever zag. De kabeljauwstand is achteruit gevlogen. Was volwassen kabeljauw vroeger ruim een meter lang, tegenwoordig halen ze net de 40 cm. Overbevissing? Misschien. Maar zo'n extreme lading aan PCB's, tot aan 20 mg/kg, plus dioxines en ook nog broombrandvertragers zal ze geen goed hebben gedaan. En ook voor deze vissoort kon de rol van PFAS wel eens ernstig zijn onderschat. Interessant is ook om naar de trend in normstelling te kijken. Bleef paling uit het grote rivierengebied met 10 mg/kg aan PCB's in 1978 nog onder de toen geldende norm en kon als plaatselijke specialiteit gegeten worden, nu mogen ze met een PCB gehalte boven de 0.1 mg/kg niet meer gevangen en gegeten worden. De inzichten in de toxicologie schrijden sneller voort dan dat de PCB-gehalten dalen. Een droevige bijkomstigheid is dat traditionele palingvissers, zoals bijvoorbeeld de familie Klop aan de Merwede, door alle geloosde chemicaliën hun broodwinning verliezen, terwijl zij totaal onschuldig zijn aan alle vervuiling. Compensatie van hun verlies door de industrie is niet eens als idee besproken. De overheid laat deze kleine maar fijne bedrijfstak lelijk in de steek.

Voordat ik verder in ga op de rol van de industrie, nog iets over het meten. Dat wij steeds betere inzichten krijgen in het voorkomen en de werking van dit soort stoffen, heeft voor een flink deel ook te maken met de enorme ontwikkeling in de gevoeligheid van de analysemethoden. In een halve eeuw tijds zijn we gegaan van een detectiegrens van dit soort stoffen van 0.1 milligram tot 10 picogram per kg. Tien miljoen maal gevoeliger en de grens is nog niet bereikt. Kan een miljoenste van een miljoenste gram kwaad? Vast en zeker niet en het is belangrijk om dat goed in het vizier te houden. Wel is het natuurlijk zo dat we inmiddels een prachtig 'early warning' systeem hebben kunnen opbouwen. We detecteren nu al stoffen voordat ze een probleem vormen. Uit het voorgaande blijkt dat dat vijftig jaar geleden wel anders was.

### **3. De rol van de industrie**

Het wordt de hoogste tijd voor actualiteit en mijn werk in de afgelopen zestien jaar op de VU. Ik heb altijd geprobeerd in gesprek te blijven met alle partijen rondom het thema van persistente contaminanten: de overheid, NGO's, en ook de industrie die verantwoordelijk is voor de productie van deze stoffen. In de loop van de tijd is het contact met het bedrijfsleven verschoven van vrijwel onmogelijk tot redelijk toegankelijk. Ik zeg 'redelijk' omdat een gesprek wel mogelijk is, bijvoorbeeld via overkoepelende organisaties als CEFIC (European Chemical Industry Council) of soms rechtstreeks met bedrijven als Chemours, ICL of Broomchemie, maar een echt open communicatie blijft lastig. Dat wordt deels veroorzaakt door geheimhouding van productieprocessen, maar zeker ook door overwegingen van winstbejag. Bij het produceren van stoffen zijn twee zaken belangrijk: het productieproces en de stof zelf. Tata Steel in IJmuiden maakt staal. Staal als product is vanuit de milieuchemie niet zorgwekkend. De voordelen van staal winnen het van mogelijke nadelen voor het milieu. Hergebruik van staal is ook goed mogelijk. Echter, het productieproces is bijzonder vervuilend. Fijnstof, polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAKs), lood, vanadium, berillium, cyanide, koolmonoxide, de tijd is tekort om alle stoffen die vrijkomen bij het produceren van staal te noemen. Met name de omgeving van een staalfabriek als Tata Steel is het kind van de rekening. De bijdrage aan de wereldwijde verontreiniging is echter beperkt.

Chemours in Dordrecht maakt Teflon®. Daarbij worden PFAS gebruikt als intermediair die vervolgens worden geloosd. 3M in Antwerpen maakt geen Teflon® maar wel PFAS voor direct gebruik in allerhande eerder genoemde toepassingen. Tot nu toe waren die productieprocessen ook vervuilend, door het, bijvoorbeeld in Nederland, toedelen van ruime lozingsvergunningen aan bedrijven als Chemours of, in België door het zelfs deels ontbreken van lozingsvergunningen. De directe omgeving is opnieuw het kind van de rekening met hoge PFAS-gehalten in de grond, waardoor men niet meer uit eigen tuin kan eten, geen eieren van eigen kippen kan eten, etc. Maar, omdat ook de stoffen zelf persistent en toxisch zijn, is er ook een grote bijdrage aan de verontreiniging van het milieu wereldwijd. Door het beperken van de lozingen kunnen we het productieproces schoner maken en de uitstoot naar de directe omgeving beperken. Echter, de stoffen zelf, zoals PFAS, zullen zich via de producten die ooit na gebruik via een depositie op een vuilstort of

via een vuilverbranding, waar ze niet verbranden maar in hoofdzaak verdampen, in het milieu belanden en zich verspreiden over de wereld. Een onomkeerbaar proces. Ik noemde eerder het bestrijdingsmiddel DDT, en ook de polychloorbifenylen, PCBs. Beide stoffen zijn al veertig jaar verboden. Toch hebben moeders wereldwijd deze stoffen nog steeds in hun moedermelk en geven ze zo door aan hun kinderen waarbij de eerstgeborenen de hoogste dosis krijgt. Hebben we daar iets van geleerd? Het antwoord is helaas: nee. Iedereen op de wereld heeft PFAS in zijn of haar bloed. Opnieuw hebben we dit laten gebeuren en het lijkt nog niet de laatste stof waar het zo mee zal gaan. Het zijn allemaal experimenten op wereldschaal. We gebruiken de wereld als laboratorium in plaats van stoffen eerst te testen en dan pas te beslissen over de toelating ervan.

Wat moet er nu gebeuren om dit voortaan te voorkomen? De enige weg is het niet meer produceren van PBT(M) stoffen. Dat kan alleen door wereldwijde afspraken over productie en vooraf testen. Het Europese REACH programma had tot wel doel bulk chemicaliën te testen voordat ze worden toegelaten op de Europese markt. Helaas is de conclusie dat dit programma tekortschiet met name in capaciteit. Er is zoveel tijd nodig voor alle toxiciteitstesten en administratie, dat men maar langzaam vordert (Daley, 2017). Hoewel er inmiddels door REACH al heel stoffen zijn verboden, is de lijst met te beoordelen stoffen gegroeid in plaats van ingekort. Ook de lijst met POPs van de Stockholm Conventie wordt steeds langer in plaats van korter. Toch gloort er hoop. Onder de Green deal van de EU hangt de CSS, de Chemical Sustainability Strategy. Daarin wordt voorgesteld om niet meer te beoordelen op basis van risico maar op basis van gevaar. Dat betekent dat langdurige testen van stoffen niet meer nodig zijn maar dat een stof op basis van structuur en vergelijking met andere gelijkende stoffen wordt beoordeeld. Dat levert een grote tijdswinst op waardoor een inhaalslag mogelijk is. De lobby vanuit de industrie hiertegen is echter groot en sterk. En mochten deze CSS uiteindelijk wel van start gaan, dan nog hebben we te doen met China en andere landen waar PBT-stoffen worden geproduceerd. Het Global Chemicals Outlook II rapport van de milieutak van de VN, UNEP, laat zien dat de totale markt aan chemicaliën in 2030 het dubbele zal bedragen van de huidige markt. Dat is een enorme stijging die meteen ook de vraag opwerpt: en daarna? Dat rapport maakt ook heel goed zichtbaar waar de productie plaatsvindt: 50% van alle stoffen zullen in China worden gemaakt. En dat zijn helaas niet alleen stoffen met veilige eigenschappen. Het laat zien dat internationaal overleg op dit gebied van het grootste belang is.

Wat mij heeft teleurgesteld in de chemische industrie is de terughoudendheid om zelf eens met een doorbraak te komen in het produceren van chemicaliën. Je mag toch verwachten dat als je voorop loopt met de productie van milieuvriendelijke stoffen er een uitstekende markt open ligt. Gebruikers als IKEA en Apple geven duidelijk aan zij geen brandvertragende stoffen willen gebruiken met nare eigenschappen voor het milieu. Een handicap daarbij is uiteraard dat wanneer je een fabriek hebt die op fluor gebaseerde of op broom gebaseerde stoffen maakt, je niet eenvoudig kunt overgaan op bijvoorbeeld siliconen. Het ongelukkige gevolg is het rekken van de productie van milieuvriendelijke stoffen zolang als maar mogelijk is. Overheden hebben daarom een doorslaggevende rol hierin. De overheid moet bedrijven tot maatregelen dwingen, anders gebeurt er niets. Helaas zien we dat tot nu toe lozingsvergunningen wel erg ruim zijn toebedeeld in Nederland. Niemand deed tot 2016



moeilijk over een vergunning voor een jarenlange, ongezuiverde lozing van tienduizenden kilo's aan PFAS rechtsreeks in de Merwede. Pas als de nood aan de man is, en we ondubbelzinnig hebben aangetoond dat hier een gevaar voor de volksgezondheid dreigt, wordt er actie ondernomen.

Waren mijn collega's Sicco Brandsma en Martin van Velzen er niet op hun vrije dag op uitgetrokken om grasmonsters in Dordrecht te nemen, dan gingen de PFAS-lozingen vermoedelijk nu gewoon nog door. Hadden de bewoners van Zwijndrecht via Grondrecht geen alarm geslagen, dan zou 3M nu nog vrolijk PFAS produceren. Vijftig jaar lozen van PFOS heeft geleid tot PFOS-gehalten in bloed van mensen uit de buurt van de 3M fabriek daar die tot 160 maal de norm overschrijden. In arbeiders wordt nog eens tienmaal zoveel aangetroffen. Parkersburg, Virginia, het gebied rond Venetië in Italië, Decatur, Alabama, allemaal gebieden met PFAS producenten, en allemaal met een schrikbarende verontreiniging van de omgeving en de bevolking. Wonen rondom een chemische fabriek is blijkbaar zeer riskant. Werken erin nog meer. Vraag het de 35 vrouwen van de lycra afdeling van het vroegere Du Pont in Dordrecht: verminderde vruchtbaarheid, miskramen, te vroeg en/of te klein geboren baby's en andere ernstige klachten rondom de zwangerschap allemaal vanwege blootstelling aan het oplosmiddel dimethylacetamide. Ik heb mij niet beziggehouden met gezondheid op de werkvloer maar ik pleit voor een onderzoek in Nederland naar sterftcijfers van arbeiders in de chemische industrie. Daarover is weinig recente informatie. De laatste getallen zijn van 2011 toen 4100 mensen stierven door werk gerelateerde oorzaken, inclusief gepensioneerden (Ned. Ver. Arbeidshygiëne, 2011). Nog maar een paar weken geleden hebben we een hoge PFAS verontreiniging in grond en drinkwater aangetoond rond de fabrieken van Arkema in Lyon. Terwijl de productie daar ook al tientallen jaren gaande is, is over PFAS-gehalten in bloed van omwonenden en arbeiders nog niets bekend. De door ons gevonden gehalten in de omgeving doen het ergste vrezen.

Vaak gaat de discussie dan over de kosten van te nemen maatregelen. "Weet je wel hoe groot een doekfilter is?" hoor ik dan van Tata Steel. Du Pont maakt 4-6 miljard dollar winst per jaar. Een filterinstallatie kost 75 miljoen. Trekt u eens 75 miljoen af van 6 miljard: precies, dan heeft u nog steeds 6 miljard. Technische argumenten worden ook vaak genoemd. Het zou niet mogelijk zijn om perfluorobutene dat soms bij afwijkingen in het Teflon® productieproces naar buiten komt te filteren. Pas toen ik de overheid erop wees dat in Dordrecht een strijdgas, want dat is het, over de hoofden van de mensen werd uitgeblazen, kon het plotseling wel worden uitgefilterd. Een strategie die bij de productie van gehalogeneerde stoffen vaak wordt toegepast is sleutelen aan het molecuul. Wordt decabroomdifenylether verboden? Dan maken we voortaan decabroomdifenylethaan. Wordt perfluorooctaan zuur verboden? Dan brengen we een zuurstofatoom in het molecuul en maken we voortaan GenX. Wij noemen dit 'regrettable substitution'. Een nieuwe cyclus van meten, debatteren en maatregelen volgt, en daarna weer één, enzovoort. Daarom pleit ik voor het uitfasen van een hele groep van verbindingen zoals alle PFAS. Dan lopen we niet de kans om steeds weer opnieuw te moeten beginnen met aantonen van een nieuwe gefluoreerde, gechloreerde of gebromeerde variant. Is het spel dan uit? Helaas, nu al zien we verbindingen opduiken die de industrie 'redt' als alle PFAS wordt verboden. In New

Jersey werden recent chloorperfluorether carboxylaten (Cl-PFECA's) in bodemonsters aangetroffen (Wagner and Gold, 2022). Het chlooratoom in de perfluorketen, maakt dat de stof mogelijk niet meer onder PFAS valt. En op dezelfde manier kan een fluor atoom in de keten van gechloreerde paraffinen worden ingebracht, zodat het formeel geen chloorparaffine meer is. En toch: we zullen deze stoffen niet meer moeten maken als we komende generaties niet willen opzadelen met dezelfde problemen als veroorzaakt door DDT, PCB's en PFAS. De rol van overheden en internationaal overleg is hierbij cruciaal.

Door bezuinigingen van de overheid in het verleden is de controle op lozingen voor een groot deel verdwenen. De verantwoordelijkheid is in handen van de chemische industrie gelegd die daarmee de bekende slager werd die zijn eigen vlees keurt. Door veel bedrijven wordt zelfs helemaal niet meer gemeten maar worden data gerapporteerd in de jaarverslagen die uit het productieproces worden berekend, totaal voorbijgaand aan afwijkingen die nu eenmaal vaak in productieprocessen voorkomen. Ik weet dat monitoren betrekkelijk duur is. Maar, waarom wordt er toch niet steekproefsgewijs en vooral onaangekondigd gemeten door de overheid? De geringe investering daarin, waarvan de rekening best naar het bedrijf kan worden gestuurd, kan grote besparingen opleveren in de volksgezondheid. Als er nu al iets wordt gemeten, wordt dat ruim van tevoren aangekondigd. De uitkomst van dergelijke metingen laat zich raden.

Waarom lozen fabrieken hun afval überhaupt op het oppervlaktewater en naar de lucht? Zoals strafadvocate Bénédicte Ficq onlangs zei: "De lucht is wel van ons allemaal". In mijn inaugurele rede heb ik gewezen op het zuurstofloos raken van oppervlaktewater voor de jaren zeventig, bijvoorbeeld als gevolg van de strokartonproductie. De in de jaren daarna gebouwde zuiveringsinstallaties hebben dat probleem opgelost. Het ging erom dat de grens voor het benutten van het zelfreinigend vermogen van de natuur was bereikt. Als het gaat om PBT-stoffen lijkt het alsof we collectief de grens van het zelfreinigend vermogen van de natuur uit het oog zijn verloren. Ja, de natuur kan wat aan. De natuur kan zichzelf herstellen van bepaalde rampen, bijvoorbeeld een olieramp op zee. Maar er is een grens. Die grens werd overschreden in het wereldexperiment met DDT en PCB's. Het zelfreinigend vermogen voor PFAS lijkt dichtbij nul te liggen. Er is zoals al gezegd geen bacterie geïnteresseerd in de afbraak van deze stoffen. Toch heeft de Nederlandse overheid ruimhartig lozingsvergunningen voor PFAS toebedeeld. Met de huidige technische kennis kan bedrijfsafval in feite altijd ter plekke worden verwerkt. Het kost maar een klein deel van de winst, die rekensom hebben we net samen gemaakt. Nu moeten drinkwaterbedrijven veel investeren in de reiniging van door de industrie vervuild oppervlaktewater. Dat is toch de wereld op zijn kop? Ik hoop en geloof in een toekomst waarin we zullen kunnen terugkijken en zeggen: "In die tijd kon je nog lozingsvergunningen krijgen".

Na mijn kritische opmerkingen over de chemische industrie dan toch nog een hoopvolle opmerking. Professor Maarten Honing uit Maastricht wees me recent op nieuwe ontwikkelingen op de Brightlands Campus in Geleen. Daar wordt geprobeerd om tot een heel ander chemisch denken te komen in het bedrijfsleven, met accenten op de circulaire economie. Men werkt daar aan biomedische innovaties, productie van hoogwaardige materialen, duurzame processen en bijvoorbeeld hergebruik van eigen afvalwater. Vanwege

het risico op corrosie zijn de eisen daarvoor veel hoger dan wanneer je dat water eenvoudig loost op de rivier. Uiteraard zal dat leiden tot een sterke vermindering in lozingen van chemische stoffen. Het kan dus wel en het is goed om zo'n ontwikkeling te zien.

#### **4. Slotopmerkingen**

Ik heb het grote voorrecht gehad om de hele wereld over te reizen. Niet best voor het milieu zult u zeggen en inderdaad kijken we daar nu heel anders tegen aan dan nog maar een jaar of tien geleden. Gelukkig wordt er, tenminste door één van de aanwezigen hier, hard gewerkt aan de oplossing van het vervuילend vliegen door middel van vliegtuigen die alleen waterstof gebruiken. Reizen en mensen uit andere culturen ontmoeten is zo belangrijk voor het onderling begrip. Wat mij het meest opvalt wanneer ik weer eens van een reis in Afrika terugkeer is dat ik nauwelijks kan overbrengen hoe groot het verschil in welvaart en welzijn is tussen West-Europa en vrijwel alle Afrikaanse landen. Wij leven hier in de hemel. We hebben vanuit de VU zo hard geprobeerd om laboratoria te trainen en te helpen opbouwen in Zambia, Oeganda, Tanzania, Senegal, Mali en meer (Van Leeuwen et al., 2013). Het verschil lijkt het echter onoverbrugbaar. Als mensen geen stromend water hebben, te weinig voedsel, geen toilet, geen verharde wegen, één bed voor vier kinderen en zichzelf, etc., wie is dan gemotiveerd om persistente verbindingen te analyseren? De kloof tussen die wereld en de onze is veel te groot geworden. Hoe kan het bestaan dat obesitas ons grootste gezondheidsprobleem is terwijl daar mensen verhongeren? Ik weet het, het is niet mijn onderwerp van vandaag maar mijn werk bracht mij er hard mee in aanraking. Ik heb mijn best gedaan om enkele Afrikaanse PhD studenten op te leiden en ik kijk met grote bewondering naar Saada en Loha die hier nu nog hard aan werken. De sprong van Ghana en Ethiopië naar een Nederlandse PhD is heel erg groot!

Het was mij een groot voorrecht om op een universiteit te werken. En het was een genoegen dat die universiteit de VU was. Gaat alles hier dan zo goed? Het was een verleiding om net als bij mijn inauguratie weer iets te zeggen over management, maar ik laat die kans bewust voorbijgaan. Tenslotte heb ik de afgelopen 16 jaar slechts zes fusies en een reorganisatie meegemaakt. Liever besteed ik tijd aan de inspirerende samenwerking en gedachtewisselingen met zovelen hier. Heel veel dank ben ik verschuldigd aan mijn beide leermeesters Udo Brinkman en Paul Hagel. Aan Udo, mijn promotor, ben ik veel dank verschuldigd. Wat beleefden we mooie tijden samen en wat heb je me geïnspireerd en veel geleerd. Het is mij een groot genoegen Paul, dat je hier vandaag aanwezig kunt zijn. Ik kijk vandaag natuurlijk ook terug op een prachtige tijd op het RIVO waar ik met het grootste plezier ruim 31 jaar heb doorgebracht. Maar terug naar de VU, het IVM en de afdeling Environment and Health. Ik mocht zelfs directeur zijn van het IVM al was dat niet tijdens de hoogtijdagen van dat instituut. Toch koester ik er mooie herinneringen aan. Met name aan de samenwerking met Roy Brouwer en Frank Biermann denk ik met heel veel plezier terug en natuurlijk ook aan de meest bijzondere secretaresse, Els Hunfeld die ik dank voor alle steun in die dagen. Mocht ik al ergens trots op zijn, dan is het wel dat ik bij heb kunnen dragen aan een nieuwe toekomst van het IVM. Het was een gevecht met helaas wel enkele slachtoffers, maar een gevecht dat niet werd verloren.

Er is te weinig tijd om alle namen te noemen van mijn fijne collega's hier. Omdat we als onderzoekers altijd kritisch zijn op de 'Admin', wil ik juist graag een paar mensen uit de ondersteuning noemen waarvoor ik een grote bewondering heb, omdat ik altijd voelde dat zij echt begrepen wat er nodig was voor onderzoekers: Johan Mes, Meike Treffers, Bart van Leijen. Met geen van jullie duurde de samenwerking langer dan een paar jaar, omdat goede mensen altijd weer verder gaan, maar ik blijf er een hele warme herinnering aan overhouden. Dat doe ik ook aan onze onvolprezen vorige rector Vinod Subramanian. Ik dank alle collega's van buiten de VU. Omdat we allemaal veel te hard werkten, zagen we elkaar als Nederlandse collega's vaak alleen in het buitenland en de laatste twee jaar al bijna helemaal niet. Maar het was me een eer en een genoegen om met jullie te werken, Ron Hoogenboom en Wim Traag van Wageningen Food Safety met Stefan van Leeuwen waarmee ik eerst op het RIVO en daarna op het IVM fijn mocht samenwerken, Ivonne Rietjens van Toxicologie in Wageningen waarbij ik twee prettige jaren mocht doorbrengen, de altijd constructieve en zo begaafde toxicoloog Martin van den Berg uit Utrecht en nog veel andere collega's, van het RIVM, Deltares, NVWA en andere universiteiten, van NGO's en natuurlijk ook heel veel buitenlandse collega's waaronder Marina Ricci, Mette Björge, Anuschka Polder, Gunilla Lindström en Bert van Bavel.

Ik heb genoten en veel geleerd van de samenwerking met de Gezondheid en Leven groep, Madeleine, Jelske, Eva, Esther, Han en Marijke, echte toppers zijn jullie en vooral een echt en hecht team. Wij hebben *wel* een succesvolle fusie tot stand gebracht. Ik dank in het bijzonder Dick Vethaak die als bijzonder hoogleraar verbonden was aan mijn groep. Heel veel dank Dick voor de altijd fijne samenwerking die dateert van al lang voor onze VU-tijd. Met je altijd inspirerende ideeën en uitstekende papers heb je veel bijgedragen aan de ontwikkeling van E&H.

Geen onderzoeker kan zonder goede analisten, PhD studenten en postdocs. Ik ben daarin zeer bevoorrecht geweest. Ik kies ervoor om hier geen namen te noemen, want het is een lange lijst van fijne mensen met uitzonderlijke talenten, maar dat betekent niet dat mijn dank beperkt is. Veel dank ben ik verschuldigd aan de E&H analisten van wereldklasse, aan mijn PhD studenten en mijn super postdocs. En natuurlijk heel veel dank aan al mijn altijd hard werkende collega onderzoekers. Waar onderlinge concurrentie in de academische wereld altijd op de loer ligt, hebben wij door uitstekende samenwerking een geolied team opgebouwd. Mijn hoop is dat die collegiale samenwerking de basis van het succes zal blijven en dat jullie weg zullen blijven van onderlinge competitie. Hou dit altijd voor ogen als basis voor een goed team: de één achte de ander uitnemender dan zichzelf.

Ik kom tot een afronding. Ik kom uit een bijzondere familie. Mijn broer Meindert en zussen Nelly, Wil, Corrie en met nagedachtenis aan mijn overleden zus Truus, wil ik graag speciaal bedanken. Want ze zijn er altijd voor mij. Als je alleen woont zoals ik, is dat heel belangrijk. Altijd positief, altijd belangstellend naar wat ik doe. Dank jullie wel. En dan, als laatste maar voor alles uit: Elsemieke en Pim, mijn twee allerliefste kinderen. We hebben grote reizen gemaakt en jullie maken nu zelf je eigen reis door het leven. Allebei met een link naar het milieu: Elsemieke in Rwanda bij de berggorilla's en Pim met zijn vliegtuigen op waterstof. Wat ben ik trots op jullie. Jullie zijn het allerbelangrijkste voor mij. Ik eindig vrij naar het lied

'Testament' van Boudewijn De Groot: "Verder niets, alleen nog een paar dingen, waar geen mens nog iets aan heeft, dat zijn mijn fantastische werkherinneringen, die neem ik mee zolang ik verder leef".

Ik heb gezegd.

## Literatuur

J. G. Allen (2018). These toxic chemicals are everywhere — even in your body. And they won't ever go away, "Opinions" article published in the Washington Post on 02-01-2018, accessed: 15-03-2021, available online at: [https://www.washingtonpost.com/opinions/these-toxic-chemicals-are-everywhere-and-they-wont-ever-go-away/2018/01/02/82e7e48a-e4ee-11e7-a65d-1ac0fd7f097e\\_story.html](https://www.washingtonpost.com/opinions/these-toxic-chemicals-are-everywhere-and-they-wont-ever-go-away/2018/01/02/82e7e48a-e4ee-11e7-a65d-1ac0fd7f097e_story.html).

C.G.J. Belpaire, G. Goemans, C. Geeraerts, P. Quataert, K. Parmentier, P. Hagel, J. de Boer (2009). Decreasing eel stocks : survival of the fattest. *Ecol. Freshwater Fish.* 18, 197-214.

J. de Boer, P.G. Wester, J.C. Klamer, W.E. Lewis, J.P. Boon (1998). Brominated flame retardants in sperm whales and other marine mammals - a new threat to ocean life? *Nature* 394, 28-29.

J. de Boer, H.M. Stapleton (2019). Toward fire safety without chemical risk. *Science* 364 (6437), 231-232.

J. Daley (2017). Science is falling woefully behind in testing new chemicals. *Smithsonian Magazine*, February 3.

H. Flerlage, G.J.M. Velders, J. de Boer (2021). A review of bottom-up and top-down emission estimates of hydrofluorocarbon(HFCs) in different parts of the worlds. *Chemosphere* 283, 131208.

T. Gouin, D. Mackay, K.C. Jones, T. Harner, S.N. Meijer (2004). Evidence for the "grasshopper" effect and fractionation during long-range atmospheric transport of organic contaminants. *Environ. Pollut.* 128, 139-148.

D. Meironyté , K. Norén, Å. Bergman (1999). Analysis of polybrominated diphenyl ethers in Swedish human milk. A time-related trend study, 1972-1997. *J. Toxicol. Environ. Health A* 58, 329-341.

Nederlandse Vereniging voor Arbeidshygiene (2011). <https://www.arbeidshygiene.nl/4100-werknemers-dood-er-zijn-betere-indicaties-nodig-over-aanpak-gevaarlijke-stoffen/>

P. Palstra, V. J. T. van Ginneken, A. J. Murk, G. E. E. J. M. van den Thillart (2006). Are dioxin-like contaminants responsible for the eel (*Anguilla anguilla*) drama? *Naturwissenschaften* 93, 145.

UNEP Global Chemicals Outlook II (2019). UNEP, Geneva, Switzerland.

S.P.J. van Leeuwen, B. van Bavel, E. Abad, H. Leslie, H. Fiedler, J. de Boer (2013). POPs analysis reveals issues in bringing laboratories in developing countries to a higher quality level. *TrAC Trends Anal. Chem.* 46, 198-206.

W.E. Wagner, S.C. Gold (2022). Legal obstacles to toxic chemical research. *Science* 375 (6577), 138-141.

