

# Chemophilia/Chemophobia

# Chemophilia/Chemophobia

*Rede*

uitgesproken bij de aanvaarding van het ambt van  
hoogleraar Environmental Ecology  
aan de Faculteit der Natuurwetenschappen, Wiskunde en Informatica  
van de Universiteit van Amsterdam  
op donderdag 12 december 2019

door

Annemarie van Wezel

Dit is oratie 613, verschenen in de oratiereeks van de Universiteit van Amsterdam.

Opmaak: JAPES, Amsterdam

© Universiteit van Amsterdam, 2019

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Voorzover het maken van kopieën uit deze uitgave is toegestaan op grond van artikel 16B Auteurswet 1912 j° het Besluit van 20 juni 1974, St.b. 351, zoals gewijzigd bij het Besluit van 23 augustus 1985, St.b. 471 en artikel 17 Auteurswet 1912, dient men de daarvoor wettelijk verschuldigde vergoedingen te voldoen aan de Stichting Reprorecht (Postbus 882, 1180 AW Amstelveen). Voor het overnemen van gedeelte(n) uit deze uitgave in bloemlezingen, readers en andere compilatiewerken (artikel 16 Auteurswet 1912) dient men zich tot de uitgever te wenden.

*Mevrouw de Rector Magnificus,  
Mijnheer de decaan,  
Geachte dames en heren,*

Je ziet ze niet, maar ze zijn overal. Synthetische stoffen, door de mens gemaakt en toegepast. Ook door u en mij op deze dag. Vanochtend in bad of onder de douche gebruikte u waarschijnlijk shampoo of schuim, persoonlijke verzorgingsmiddelen waarin bijvoorbeeld ftalaten, parabenen en surfactantia zitten. Daarna schoot u in uw kleren, waar veelal polymeren ofwel plastics zijn verwerkt in de vezels. U liep over uw tapijt, met vlek- en brandwerende stoffen erin verwerkt. U maakte uw ontbijtje, waarvan veel ingrediënten zijn geteeld met hulp van bestrijdingsmiddelen waarvan lage residugehaltes nog aanwezig kunnen zijn. U bakte een eitje in uw pannetje waarin wellicht een fluorhoudende antiaanbaklaag zit. Misschien slikte of smeerde u medicijnen, met allerlei actieve ingrediënten. En ondertussen bent u nog maar een uurtje wakker. Zo kan ik nog even doorgaan, maar omdat zo'n oratie niet al te lang moet uitlopen beperk ik me tot deze voorbeelden. De boodschap is dat synthetische stoffen in allerlei meer of minder nuttige toepassingen heel sterk zijn verweven met ons dagelijks leven anno alweer bijna 2020.

## **Gebruik en groei; Chemophilia**

U vraagt er wellicht niet om, en bent er zich wellicht niet altijd bewust van, maar uw en mijn dagelijkse keuzes hangen zo sterk samen met de kwaliteit van het milieu waarin we leven. Inmiddels zijn ruim 157 miljoen stoffen geregistreerd met een uniek nummer in het CAS register. In CHEMLIST zijn bijna vierhonderdduizend stoffen geregistreerd die op relevante wereldmarkten zijn toegelaten.

In Europa kennen we sectorale regelgeving voor de markttoegang van deze stoffen; voor landbouw met bestrijdingsmiddelen en diergeneesmiddelen, voor de zorg met geneesmiddelen, voor diverse sectoren met biociden voor desinfectie, conservering en plaagbestrijding, en voor de industrie met een enorm breed palet aan stoffen. Via deze vijf verordeningen zijn in Europa duizenden stoffen geregistreerd en soms ook expliciet toegelaten op de markt,

waarbij de REACH verordening voor registratie en autorisatie van industriële stoffen het grootste aantal stoffen reguleert. In al deze wetgevende kaders wordt op de één of andere manier het risico dat de stof kan toebrengen aan de mens en meestal ook aan het milieu afgewogen, en kan ook worden ingegrepen in de markttoelating als – soms vanwege nieuwe wetenschappelijke inzichten – de risico's niet toelaatbaar worden geacht. Tot zover het goede nieuws.

Als maatschappij produceren en gebruiken we steeds méér synthetische stoffen, en ook in steeds grotere volumina. Afgezet tegen een referentiejaar, 1970, is deze stijging veel sneller dan die van andere oorzaken van wat we noemen 'global change' – ofwel alle veranderingen waaraan onze planeet in dit door de mens gedomineerde tijdsgewricht, het antropoceen, onderhevig is. De kranten staan vol over stijging van CO<sub>2</sub> in de atmosfeer, verlies van biodiversiteit, enzovoorts, zeer relevante en snelle veranderingen, maar de snelheid ervan blijft toch nog sterk achter bij de snelheid van verandering rondom het gebruik van synthetische stoffen.

Je kunt je afvragen waaróm we nu eigenlijk zoveel meer stoffen gebruiken. Vóór circa 1950 konden we immers best prima zonder.

Vragen wij als burgers erom? Veelal in elk geval niet bewust, al vinden we het best fijn als onze jas water- en vuilafstotend is, of als we weten dat het voedsel dat we kopen gemaakt is in een hygiënische omgeving. We houden dus van chemie, althans van de functionaliteiten die chemie ons biedt zoals gezondheid, veiligheid en conservering. We vragen wel om de functionaliteiten die ons geboden kunnen worden door de synthetische stoffen, maar we weten als burgers niet en willen wellicht ook niet weten om welke stoffen het dan precies gaat en welke risico's al die stoffen met zich meebrengen.

Vragen productiesectoren zoals landbouw of industrie erom? In deze sectoren waar professioneel gehandeld wordt mag je verwachten dat werkgevers en werknemers zich al een stuk bewuster zijn van de synthetisch stoffen die een rol spelen in het productieproces. Men koopt de stoffen immers bewust in en past ze toe, en tot op zekere hoogte -gezien de concurrentiepositie waarin een individueel bedrijf zich bevindt- heeft een bedrijf keuzevrijheid in hoeveel en welke synthetische stoffen toe te passen.

Uiteraard speelt naast de vraag-kant ook de aanbod-kant een belangrijke rol. De chemische industrie in Europa is een belangrijke speler. Europa is de tweede chemieproducent ter wereld, de enige regio met een handels surplus naar alle andere wereldregio's en bevat wereldleiders met bedrijven als Bayer, BASF en DOW. De economische betekenis van de chemische sector is aanzienlijk, met in Europa 1,2 miljoen banen en een omzet van ruim 560 miljard euro. Nederland blaast zijn partijtje hierbij aardig mee als vierde speler in

Europa, en met 6 chemische productieparken in Terneuzen, de havens van Rotterdam en Amsterdam, Delfzijl, Emmen en het grote cluster van Chemelot in Geleen en vestigingen van bekende namen zoals bijvoorbeeld DuPont, AkzoNobel, Kemira, DOW, DSM en Chemours en natuurlijk de olie-industrie met Shell. Voor Nederland is de chemie de tweede industriesector, met banen voor 57 duizend mensen en een omzet van 55 miljard euro door maar liefst 470 bedrijven.

Overigens is het zo dat hierbij de productie van de actieve ingrediënten in belangrijke mate plaatsvindt in landen als China en India. De winsten worden vervolgens elders gemaakt, bij het mengen van de verschillende ingrediënten tot de eindproducten en de marketing daarvan. Europa is wereldleider op specialty chemicals, de stoffen met de hoogste winstmarges. Natuurlijk kan zo'n grote sector alleen bloeien bij voldoende afname, en heeft zij aanzienlijke budgetten ter beschikking voor de marketing van haar producten. Een moeilijk te schatten deel van de huidige chemieconsumptie of chemificatie van onze maatschappij zal dan ook niet voortkomen uit een werkelijke vraag naar de functionaliteit van chemie maar zal aanbod gedreven zijn. Maar... chemie is ook duur, dus vertrouwt ook de regelgever erop dat de markt zijn werk doet en dat bij onvoldoende maatschappelijke waarde de chemieproducten niet verkocht zullen worden.

Mijn conclusie vooralsnog is dat we weinig begrip hebben van de oorzaken achter de zeer sterke groei van productie en consumptie van synthetische chemicaliën, en dat als we hierop effectief willen kunnen ingrijpen een beter begrip hiervan geboden is.

## **Toxiciteit en risico's; Chemophobia**

Tijdens de productie, bij het gebruik en in de afvalfase van alle producten en processen waarbij de synthetische stoffen een rol spelen, zijn er vele emissiepaden met één gezamenlijke eigenschap; ze komen allemaal uit in ons milieu. Die emissiepaden hangen samen met het type gebruik, zo zijn bijvoorbeeld huishoudens en daarmee verbonden de rioolwaterzuiveringsinstallaties een belangrijke emissieroute naar oppervlaktewater voor geneesmiddelen en ook biociden, terwijl bijvoorbeeld bestrijdingsmiddelen en diergeneesmiddelen door gebruik op land in de bodem terecht komen en kunnen af- en uitspoelen naar oppervlakte water en grondwater. Uiteindelijk leidt dat tot een cumulatie van allerlei stoffen uit allerlei toepassingen in het water, de bodem en de lucht.

Onderweg naar en eenmaal in het milieu ontstaat ondertussen uit de – relatief goed bekende – moederstoffen ook nog eens een veelheid aan transformatieproducten, door abiotische transformatie zoals oxidatie en door biotransformatie zoals omzetting door micro-organismen. Sommigen van deze transformatieproducten brengen meer risico's met zich mee dan hun oorspronkelijke moederstof.

Nou heb ik zojuist betoogd dat we houden van chemie, en met name de functionaliteiten van chemie. Maar we vrezen tegelijkertijd de mogelijke negatieve effecten van de stapeling van al die chemie, mogelijke negatieve effecten voor onze eigen gezondheid maar ook voor ons milieu, en willen deze negatieve effecten graag voorkómen. Dit leidt tot behoorlijk wat 'gedoe'; een paar recente voorbeelden zijn de felle en politieke discussies over de Europese herregistratie van het bestrijdingsmiddel glyfosaat of de recente stop in de bouw vanwege de perfluorverbindingen die voorkomen in grond, maar ook de discussies over hormoonverstorende stoffen of het belang van neonicotinoïden zijn voorbeelden.

Om die negatieve effecten op mens en milieu te voorkomen hebben we ook kwaliteitsbeleid, naast het hierboven al geschetste sectorale toelatingsbeleid. Hierin definiëren we wat bijvoorbeeld een gewenste voedselkwaliteit, drinkwaterkwaliteit, grondwater- of oppervlaktewaterkwaliteit is. Voor water streven we, met de Europese Kaderrichtlijn Water, naar een goede ecologische en een goede chemische waterkwaliteit. Voor bodem hebben we binnen Nederland afgesproken wanneer we de kwaliteit zó slecht vinden dat we gaan ingrijpen, bijvoorbeeld via sanering of isolatie. Punt is dat we die kwaliteitseisen vaak maar hebben geformuleerd voor een handje, of als het meezit een paar handjes, van stoffen. Dat zijn veelal de stoffen waar we ons gisteren druk om maakten, toen we het beleid formuleerden, en niet die waar we ons vandaag druk om maken en nog minder die van morgen. Dit terwijl we eigenlijk zouden willen borgen dat ál die synthetische stoffen samen geen negatieve effecten veroorzaken, ook niet in een situatie waarin bijvoorbeeld wegens extreme klimaatomstandigheden of heel intensief landgebruik de concentraties van al die stoffen zo af en toe flink oplopen.

In het Europese onderzoeksproject SOLUTIONS hebben we ons de afgelopen jaren gebogen over hoe dat beter kan, en zijn heel concrete ideeën geformuleerd vooral met betrekking tot de Kaderrichtlijn Water. In projecten als het TTW project EMERCHE en het ITN project ECORISK2050 bouwen we hierop voort. Belangrijke instrumenten zijn daarbij het kunnen meten van ál die stoffen die in het milieu voorkomen, het kunnen modelleren ervan, en het inzetten van bioassays om risico's in te kunnen schatten.

Voor wat betreft het meten hebben we veel aan alle recente ontwikkelingen in de analytische chemie. We gebruiken veelal scheidingsmethoden gebaseerd op vloeistofchromatografie. Voor waterkwaliteit zijn we daarbij vooral geïnteresseerd in de kleine, goed oplosbare verbindingen. Deze verspreiden zich immers gemakkelijk en zijn vaak het lastigste om te verwijderen met water-technologie. We gebruiken daarom speciaal hierop toegeruste kolommen en eluenten. Naast een goede scheiding van de vele stoffen die in een milieumoster aanwezig zijn, willen we ook zoveel mogelijk en zo gevoelig en specifiek mogelijk de aanwezige stoffen detecteren en identificeren inclusief hun transformatieproducten. Als we naam en rugnummer van de stoffen kennen kunnen we gemakkelijker hun herkomst traceren en zonodig actie nemen om hun emissie te voorkomen. Om dit te kunnen doen gebruiken we hoge resolutie massaspectrometrie, waarmee we zeer accuraat de massa van het in de massaspectrometer geïoniseerde en ook gefragmenteerde molecuul kunnen vaststellen. Deze techniek is zeer krachtig voor zover stoffen zich laten ioniseren, maar de data-interpretatie van deze techniek is vooralsnog nog behoorlijk bewerkelijk. Hier zijn wel veel ontwikkelingen in, onder andere via koppeling aan online databases, onderlinge koppeling van bestaande software-tools en uitwisseling van massa spectrometrie gegevens over de te verwachten stoffen. Op ons lab aan de UvA zijn we een van de voortrekkers van deze methodeontwikkeling in data-bewerking, identificatie en prioritering van hoge resolutie massaspectrometrie gegevens in milieumonsters via PatRoom.

Maar hoe geavanceerd ook, je kunt nooit overal en altijd meten hoe het met de milieukwaliteit gesteld is. Daarnaast hebben ook metingen altijd een inherente onzekerheid, bijvoorbeeld door onnauwkeurigheden rond de bemonstering, achtergrondvervuiling, en variatie tijdens de metingen zelf. Modellen blijken prima in staat om een inschatting te geven van concentraties van stoffen in het milieu, vooral als emissievolumes en -locaties voldoende bekend zijn. In het al genoemde SOLUTIONS project werkten we aan modellen om de concentratie en effecten van honderden stoffen tegelijk in te schatten. Vergelijk met gemeten concentraties, voor zover überhaupt voorhanden, gaf verschillen van meestal minder dan twee grootte-orde. Verdere verbetering van dit soort modellen is goed mogelijk, vooral door betere emissiedata. Open data over welke stoffen waar worden gemaakt, toegepast, gebruikt en geloosd is belangrijk, ook voor de vergunningverlener, handhaver en milieubeheerder. Tot nog toe is deze informatie helaas niet of gefragmenteerd beschikbaar.

Dit type modellen leent zich goed om de verschillen tussen stroomgebieden weer te geven, en geeft dus inzicht in waar extra voorzichtig zou mogen worden omgesprongen met locatiegebonden vergunningen.



Binnen het ITN project ECORISK2050 zullen we verder werken in deze lijn, ook rekening houdend met toekomstige sociaal-economische en maatschappelijke ontwikkelingen die immers het gebruik van synthetische chemicaliën mede zullen bepalen. Zo kunnen we, met kennis van de onzekerheden, te verwachten concentraties en gecumuleerde effecten voorspellen. We krijgen daarmee dus ook beter inzicht in de toekomstige opgave die te overbruggen is om naar de gewenste milieukwaliteit te komen; een niet-giftige omgeving of ‘non-toxic environment’ waarin ongewenste effecten van mengsels van stoffen op mens en ecosystemen afwezig zijn.

Als we de milieukwaliteit weten op basis van de metingen of modellen, kunnen we met hulp van gegevens over de toxiciteit van de stoffen een inschatting maken van de risico's voor mens en ecosysteem. Dit type openbare data die uit proefdierstudies komen, loopt sterk achter bij de snelheid van productie van nieuwe stoffen. Daarom zijn er met name in de Verenigde Staten grote programma's gestart om high-throughput nieuwe gegevens over indicatieve toxiciteit van stoffen te produceren op basis van cel-gebaseerde meetsystemen of bioassays. Door dit soort gegevens te koppelen aan gegevens over de concentraties waarin stoffen voorkomen, kan een inschatting gegeven worden over de waarschijnlijkheid van het optreden van ongewenste effecten. Maar dan moet je wel precies weten welke stoffen allemaal vóórkomen, terwijl tegelijkertijd toch nog lang niet alle stoffen al goed te meten of te modelleren zijn.

Daarom is er meer en meer een roep om naast deze stof-voor-stof risico-inschatting de risicoinschatting ook te baseren op effecten veroorzaakt door het totale mengsel van stoffen, zoals die in milieumonsters of hun concentraten gemeten kunnen worden met bioassays. Daarbij is het van belang om de verschillende manieren waarop toxiciteit tot uitdrukking kan komen goed gerepresenteerd te hebben in de selectie van bioassays die wordt ingezet. En omdat de mens ook maar een van de vele soorten is die op onze prachtige planeet voorkomen, en veel manieren van de werking van giftige stoffen heel vergelijkbaar zijn tussen organismen onderling, is het maar wat mooi dat veel van deze effectmetingen zowel geduid kunnen worden in termen van risico's voor de mens als in termen van risico's voor het ecosysteem. Deze ‘One-Health’ benadering is van belang voor verschillende partijen binnen de watersector; de waterschappen wier taak het is om de ecologie van de wateren te beheren en de drinkwaterbedrijven die vooral geïnteresseerd zijn in de humane risico's. Twee vliegen in één klap, of twee watervlooiën in één drup. Tegelijkertijd moet dat effect-meten wel een beetje praktisch en uitvoerbaar blijven, en geduid kunnen worden. Hieraan werken we, met waterbedrijven en waterschappen, in het EMERCHE project.

Op basis van gemeten of gemodelleerde concentraties, en informatie over de intrinsieke gevaar eigenschappen ofwel de giftigheid van synthetische stoffen doen we uitspraken over de bijbehorende risico's en hun aanvaardbaarheid bij een gegeven gebruik. Dit is vrij technocratisch, er komen veel verschillende methodes, vereisten, onzekerheidsfactoren en formules bij kijken. Daarmee is het principe wel eenvoudig uit te leggen, te weten zoals Paracelsus al zei het risico is een product van blootstelling en giftigheid, maar alle praktische onderliggende keuzes die gemaakt worden bij de risicobeoordeling zijn dat minder makkelijk. Daarbij komt dat in het ene sectorale toelatingskader deze keuzes net wat anders worden gemaakt dan in het andere, hetgeen alles bij elkaar toch kan leiden tot ordegroottes van verschil tussen de verschillende sectorale kaders. Dit vergemakkelijkt de uitlegbaarheid van het beleid niet. Dan geldt dat 'wetenschappers' wel kunnen uitrekenen of er al dan niet risico's zijn, maar dit hoeft niet persé overeen te komen met de perceptie van de burger of consument van de bijbehorende risico's. Deze perceptie van risico's kan behoorlijk bepalend zijn voor het debat, zoals ook de casuïstiek rond de microplastics laat zien.

## Een terzijde over plastics

Er was eens... de uitvinding van een heel handig, praktisch, duurzaam, sterk en goedkoop materiaal. En we noemden het plastic. Je hebt plastic, plastic en plastic; er zijn allerlei verschillende polymeren, plastic kan gemaakt zijn vanuit fossiele brandstoffen of vanuit biologisch (rest)materiaal, en plastic kan al dan niet bioafbreekbaar zijn. Iedereen was dol op plastic, en er werd meer en meer van geproduceerd en meer en meer producten werden afhankelijk van dit wonder materiaal. Op een boze dag werd ontdekt dat dat plastic in kleine deeltjes te vinden was op plaatsen waar bijna geen mens komt, bijvoorbeeld tussen de hoge golven midden in een verre oceaan, of in de sneeuw op een ijskoude plek op de Noordpool. Brrr... dat willen we niet!

Er gingen hele slimme onderzoekers aan de slag om meetmethoden en modellen te ontwikkelen. Plastics bleken overall, en de deeltjes die we konden meten werden kleiner en kleiner. Ondertussen deden we ook dierproeven, en als we hele hoge doses toedienden konden we wel negatieve effecten aantonen maar wat we in het milieu maten was toch meestal orde-groottes lager. Kortom; met de beschikbare kennis, zoals onder andere verzameld in het TRAMP project, konden we niet aantonen dat er nú een wijdverbreid risico is voor mens of milieu.

Ondertussen twitterden de influencers meer en meer over de verschrikkingen van al die plastics, en wilden de beleidsmakers en politici onder alle publieke aandacht heel graag laten zien hoe daadkrachtig ze zijn. De onderzoekers waren verbaasd, dit hadden ze nog nooit meegemaakt! Hun hele leven probeerden ze ‘de maatschappij’ te vertellen wat er allemaal veranderen kon, nu waren ze zelf best relaxed maar wilde de maatschappij zelf heel graag veranderen. Even nadenken... nou weet je, die plastics zijn wel héél persistent. En iets wat persistent is en dat je maar blijft gebruiken, dat wordt uiteindelijk een hele berg heel persistent plastic. Dus als we nou ingrijpen in de markt-toelating op basis van dat argument van persistentie?

Hoe loopt dit sprookje af? De microplastics kun je zien, ‘gewone’ synthetische chemicaliën niet. Daarom zijn microplastics denk ik een heel mooi voorbeeld van hoe wij consumeren en hoe vindbaar de gevolgen van onze consumptie elders en later zijn. Enne... als we in tegenstelling tot wat we nu doen bij stoftoelating en risicobeoordeling dat argument van persistentie ook eens gaan toepassen op de ‘gewone’ stoffen... en toen leefden ze nog lang en gelukkig!

## **Belang van stoffen voor circulaire economie en voor biodiversiteit**

De risico's van stoffen zijn heel relevant met betrekking tot onze wens om over te gaan tot een circulaire economie, en ook om het huidige snelle verlies van biodiversiteit tegen te gaan.

In Nederland is de wens om de economie in 2050 volledig te laten draaien op herbruikbare grondstoffen. In zo'n circulaire economie worden veel grondstoffen hergebruikt, inclusief de spoortjes van synthetische chemicaliën die in deze grondstoffen zitten.

In het RUST project, gericht op hergebruik van behandeld afvalwater in landbouwpercelen, kijken we naar de lotgevallen van de aanwezige stoffen in het rioolwatereffluent. Worden ze afgebroken in het landbouw perceel, en leidt het hergebruik van het afvalwater naast de bestrijding van droogte zo uiteindelijk ook tot een verbetering van de oppervlaktewaterkwaliteit? Of brengt het hergebruik juist risico's met zich mee voor het grondwater of voor de kwaliteit van het geteelde gewas?

Meer in zijn algemeenheid zijn met name de slecht afbreekbare persistente stoffen een mogelijke belemmering voor circulaire economie. We willen bijvoorbeeld liever niet dat ons voedsel verpakt wordt in hergebruikt materiaal dat stoffen bevat die onze hormoonhuishouding kunnen verstoren. We willen

dat de producten die we gebruiken in een circulaire economie minstens even veilig zijn voor onze gezondheid als in een lineaire economie. Dit vergt aandacht voor synthetische stoffen in de regelgeving rond recycling.

Het IPBES rapport dat afgelopen voorjaar wereldwijd de voorpagina's haalde, haalt vervuiling aan als één van de belangrijke veroorzakers van de wereldwijde achteruitgang van de biodiversiteit. Andere genoemde veroorzakers zijn klimaatverandering, landgebruiksveranderingen, invasieve soorten en overexploitatie.

Het IPBES rapport schat dat er zo'n miljoen soorten bedreigd worden met uitsterven. Op basis van de IUCN Rode lijst criteria is geschat dat zo'n 25% van de dieren en planten bedreigd zijn met uitsterven. Voor insecten is het percentage dat bedreigd wordt lager ingeschat, met zo'n 10%. Niemand weet precies hoeveel soorten er eigenlijk zijn op deze aardbol, schattingen lopen uiteen van 3 tot 100 miljoen, en meer recent tussen de 5 en 20 miljoen. Het IPBES rapport gaat uit van zo'n 8,1 miljoen soorten waarvan 75% insecten zijn. Onzekerheden rondom deze getallen en percentages zijn hoog, zoals ook IPBES zelf beschrijft.

Als je bedenkt dat we volgens de geldende toelatingskaders voor iedere individuele synthetische stof die we op de markt toelaten al een effect accepteren voor 5% van de soorten – doorgaans op groei, reproductie of sterfte –, komt dat al dicht in de buurt van de percentages van bedreigde soorten die IPBES beschrijft.

Wat me opvalt is dat ook in ons eigen land het meten van biodiversiteit weinig geïstitutioniseerd is in vergelijking met de milieumeetnetten zoals Rijk, provincies, waterschappen en drinkwaterbedrijven die hebben ingericht. We hebben de soortenorganisaties, zoals Sovon, Floron en Ravon, die met hun schare vrijwilligers waardevolle gegevens verzamelen over welke soorten waar wanneer en in welke hoeveelheden voorkomen. Deze organisaties zijn er voor mossen, paddenstoelen, planten, vlinders, insecten, reptielen, vogels en zoogdieren, en de gegevens zijn ter beschikking van burgers maar ook van bevoegde gezagen via bijvoorbeeld de Nationale Database Flora en Fauna en Waarneming.nl. Maar hoe mooi ook; deze gegevens zijn gefragmenteerd en niet geïntegreerd verzameld. Dit bleek bijvoorbeeld vorig jaar naar aanleiding van het onderzoek waarin in Duitse natuurgebieden 76% achteruitgang aan biomassa van insecten was gerapporteerd, en de WUR in Nederland wilde onderzoeken wat hier de trends in achteruitgang van insecten zijn. Dat ging niet, simpelweg omdat de daarvoor benodigde gegevens niet beschikbaar zijn; beschikbare gegevens gaan niet over aantallen en biomassa, bestrijken geen lange periode, zijn slechts afkomstig uit een beperkt aantal gebieden of zijn niet gestandaardiseerd.

De informatieverzameling over biodiversiteit kán beter, en ik zou ook denken dat dat beter moet voor zo'n belangrijk onderwerp. Er zijn inmiddels methoden ontwikkeld waarmee biodiversiteit veel meer continu en gestandaardiseerd gemeten kan worden, denk aan beeld- en geluidsopnames, environmental DNA of e-DNA bepalingen en radar gegevens van gelogde individuen waarmee ook gedrag en verspreiding kan worden gemeten. Dergelijke gegevens zijn te koppelen aan het voorkomen van soorten, met naam en toenaam. Deze methoden kunnen in het veld gestandaardiseerd worden toegepast, net zoals we dat met andere meetmethoden al sinds jaar en dag doen voor milieukwaliteit. Een voorstel om dit te demonstreren is, samen met collega-instituten Naturalis en Westerdijk, ingediend bij NWO voor grootschalige wetenschappelijke infrastructuur van nationaal en internationaal belang. Bij gunning kan op basis van deze infrastructuur allerlei vernieuwend wetenschappelijk onderzoek verricht worden, en kunnen we ook veel meer inzicht krijgen in welke gevolgen de keuzes die we maken voor de inrichting en beheer van Nederland hebben voor onze biodiversiteit.

Van beide onderwerpen, circulaire economie en biodiversiteit, hebben de afgelopen maanden de kranten vol gestaan met betrekking tot de stikstof en PFAS crisis. Een 'crisis' die vanuit het oogpunt van milieu-onderzoek niet heel nieuw is, zowel de stikstof als de PFAS zitten immers al even in ons milieu en er is al sinds lang geschreven over de negatieve gevolgen ervan. Er zijn dan ook wel collega's die verzuchten wat dan toch het belang van ons onderzoek is als er blijkbaar pas gehoor is nadat de rechter een uitspraak doet en vergunningen niet worden uitgegeven. Zelf denk ik dat het legitiem is dat wetenschap slechts een onderdeel vormt van te maken maatschappelijke afwegingen. Immers, er zijn veel onderwerpen die belangrijk zijn in allerlei verschillende domeinen en het is niet aan wetenschappers maar aan politici om daar afwegingen tussen te maken, ook rekening houdend met onderliggende waarden, percepties en belangen in het hier en nu en elders en later. Wetenschap is een onderdeel, maar wel een belangrijk onderdeel, in deze afwegingen, en het is aan wetenschappers om kennis en feiten zo duidelijk en onafhankelijk mogelijk in te brengen in het maatschappelijk debat.

En ik verheug me op het ITN project PERFORCE waarin we met Europese collega's en jonge onderzoekers gaan werken aan het meten, de milieulotgevallen, risico's en mogelijkheden van milieutechnologie voor PFAS.

## Na de Chemophilia en Chemophobia; optimisme in wat er kan om problemen voor te zijn

Als maatschappij maken we dus graag gebruik van alle functionaliteiten die synthetische stoffen ons bieden, maar graag met zo min mogelijk negatieve gevolgen. Kan dat eigenlijk wel?

Een basisvoorwaarde hiervoor is kennis, en ik heb hiervoor geschetst wat we doen en kunnen doen om meer inzicht te krijgen in het waarom van ons sterk groeiende gebruik van synthetische chemicaliën, het vóórkomen en de effecten van chemicaliën in onze leefomgeving. Zonder gegevens en kennis geen goede probleemanalyse, en zonder goede probleemanalyse geen effectieve interventies. Investeren in kennis loont, en voorkomt dat je – meestal achteraf – vele male duurdere maatregelen moet nemen.

Maar goed, aannemende dat je afdoende kennis hebt, wat kunnen we dan doen?

Ten eerste kunnen we meer nadrukkelijk afwegen wanneer het gebruik van synthetische stoffen nu eigenlijk essentieel is voor het maatschappelijk doel dat we nastreven, zijn de betreffende stoffen daarbij een nice-to-have of een need-to-have? Daar zit onmiskenbaar een waardegeladen oordeel aan, want het creëren van een marktaandeel alleen zullen sommige partijen ook zien als een maatschappelijk nut. Zo'n afweging is meer urgent voor meer problematische stoffen, dus relatief giftige en persistente chemicaliën of stoffen die in grote hoeveelheden gebruikte worden. Voor de stoffen die 'nice-to-have' zijn zouden we vervolgens strengere toelatingscriteria kunnen hanteren, of kunnen verplichten om de mogelijkheden van niet-chemische alternatieven te onderzoeken. Een dergelijke afweging van het 'maatschappelijk nut' is nu niet expliciet ingebakken in onze regelgeving.

Daarnaast kunnen we meer werk maken van circulaire chemie; al bij het ontwerp van stoffen goed nadenken over de mogelijke milieuproblemen die het gebruik ervan kan veroorzaken en zoeken naar het groenste alternatief. 'Safe-by-design' dus; minder giftig, beter afbreekbaar of in minder grote hoeveelheden nodig. Ik zie uit naar het werk dat we samen met HIMS binnen het ECORISK2050 project op dit thema hebben voorgenomen.

Meer coherentie tussen de verschillende wetten kan ook helpen; een analyse binnen hetzelfde project laat zien dat soms stoffen die na veel moeite binnen het ene kader zijn verbannen binnen het andere kader nog vrolijk zijn toegelaten op de markt. Binnen die regelgeving zou het ook mooi zijn om daar waar mogelijk over te gaan van een stof-per-stof benadering naar een benadering waarbij stofgroepen worden gereguleerd, om zo tegengaan dat

er stoffen worden uitgefaseerd maar tegelijk vervangen worden door een broertje of zusje dat minstens even vervelend is voor het milieu.

Betere kennis bij de vergunningverleners, vaak een decentrale autoriteit, over de risico's van stoffen en hoe deze kunnen worden tegengegaan helpt denk ik ook, evenals tijdelijkheid van de vergunningen zodat telkens opnieuw naar betere oplossingen kan worden gezocht en de nieuwste kennis kan worden meegenomen.

Voor een zeker gedeelte zullen we synthetische chemicaliën nodig blijven hebben, daar waar dat het geval is kan techniek helpen om zo precies mogelijk te doseren om daarmee de totale emissies te verminderen.

Tenslotte is er veel milieutechnologie beschikbaar en wordt ook verder ontwikkeld om de synthetische chemicaliën te verwijderen. Deze milieutechnologie is doorgaans gebaseerd op sorptie-processen, oxidatieve processen of scheidingstechnologie. Zij kan worden toegepast vlak nadat de stoffen nuttig gebruikt zijn, bijvoorbeeld bij een industriële productielocatie, een kas of een stal, maar ook daar waar afvalstromen samen komen zoals bij een rioolwaterzuiveringsinstallatie of een afvalverwerkingsinstallatie. Natuurlijk kost dergelijke technologie geld, maar is zeker niet onbetaalbaar. Onze eigen bescheiden maandelijks drinkwaterrekening laat dat mooi zien, want bij de drinkwaterproductielocaties die produceren uit oppervlaktewater worden dergelijke technologieën grootschalig ingezet.

Via regelgeving creëert de overheid vaak markten voor dit type toepassingen en innovaties, en dan zijn er allerlei slimme partijen die hierop kunnen inspelen en maken dat we vanuit Europa ook mondiaal concurrerend zijn op duurzaam gebruik van chemie.

## Dankwoord

Graag wil ik het College van Bestuur van deze prachtige, brede, eigen en wijze Universiteit van Amsterdam, danken voor het gestelde vertrouwen. Daarin betrek ik ook graag de decaan van de Faculteit der Natuurwetenschappen, Wiskunde en Informatica professor Peter van Tienderen. Dank aan mijn collega's van aanpalende onderzoeksinstituten binnen de FNWI, en de departementshoofden en het managementteam van het Instituut voor Biodiversiteit en Ecosysteem Dynamica die het avontuur met me wilden aangaan. Alle collega's van het IBED dank voor het warme welkom, en jullie grote betrokkenheid en bevoegenheid voor onderzoek en onderwijs. Dat we ecology, evolution, earth sciences en environmental sciences binnen een instituut hebben geeft zoveel prachtige mogelijkheden dat kiezen af en toe best moeilijk is.

Hier aan de UvA sta ik in een lange traditie als het gaat om milieuchemie en -toxicologie. Ik volg met de leerstoel Milieu Ecologie dierbare collega Pim de Voogt op, en hij stond weer in de voetsporen van twee lijnen. Aan de ene kant Harrie Govers en daarvoor de legendarische Otto Hutzinger die beiden de leerstoel Environmental and Toxicological Chemistry bekleedden, aan de andere kant Wim Admiraal en zijn voorganger Joop Ringelberg die de leerstoel Aquatische Ecologie bekleedden. Prachtig om in zo'n rijke traditie te mogen staan. In het begin van mijn loopbaan deed ik promotieonderzoek in een groep waarbij mijn co-promotor en directe collega's net van de UvA naar Utrecht waren gegaan, een cirkel is rond. Het is een groot voorrecht me te mogen inzetten voor kennisontwikkeling die ook maatschappelijk landt, zowel in beleidsgerma als bij eindgebruikers.

Ik prijs me gelukkig met de mooie faciliteiten binnen FNWI waar we gebruik van kunnen maken, en de specialistische kwaliteiten van onze analisten. Daarnaast is het fantastisch om te mogen werken met de slimme en bevlogen studenten op onze faculteit. Grote dank aan de promovendi die ik mag begeleiden, Svenja, Ann-Helene, Astrid, Dominique, Valentin, Joanke, Rick, het is heel leuk om samen met jullie de reis te maken en jullie te zien uitgroeien tot bekwame en zelfbewuste onderzoekers.

Dank aan de voormalige collega's van KWR Watercycle Research Institute en het Copernicus Institute of Sustainable Development van Universiteit Utrecht voor de vruchtbare samenwerking de afgelopen jaren, we laten elkaar niet helemaal los.

Verder wil ik de collega's bedanken met wie ik in verschillende consortia samenwerk; de enthousiaste partners van het SOLUTIONS consortium; collega's in het TRAMP project; het Schalie&Water project; het RUST project; EMERCHE project, ECORISK2050 project en het Perforce project. In deze projecten doen promovendi in groepen onderzoek, ondersteunen ze elkaar en leren ze ontzettend veel van de verschillende betrokken onderzoeksgroepen. Voor de wat grijzere begeleiders is dit ook heel leerzaam en inspirerend!

Collega's uit het College voor de Toelating van Gewasbeschermingsmiddelen en Biociden en de Gezondheidsraad dank voor de plezierige samenwerking en goede discussies. Ook dank aan de collega's uit het Netherlands Ecological Research Network.

Tenslotte natuurlijk; dank aan de oh zo belangrijke basis.

Mijn moeder, 80+ inmiddels en nog vol levenslust; mijn broers Maurits en Michiel en hun partners Dionista en Ellen, mijn neefjes en nichtjes, en de bijna-ook-familie van de jaarclub. Onze grote inmiddels studerende kinderen, Bram, Marleen en Suzanne, en mijn allerliefste Bart.

Ik heb gezegd.