



Universiteit
Leiden

The Netherlands

Over ecotoxicologische grenzen:de choreografie van stoffen in de natuur

Vijver, M.G.

Citation

Vijver, M. G. (2018). *Over ecotoxicologische grenzen:de choreografie van stoffen in de natuur*. Leiden: Universiteit Leiden. Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/75490>

Version: Not Applicable (or Unknown)
License: [Leiden University Non-exclusive license](#)
Downloaded from: <https://hdl.handle.net/1887/75490>

Note: To cite this publication please use the final published version (if applicable).

Prof.dr.ing. Martina G. Vijver

Over ecotoxicologische grenzen: de choreografie van stoffen in de natuur



Universiteit
Leiden

Bij ons leer je de wereld kennen

Over ecotoxicologische grenzen: de choreografie van stoffen in de natuur

Oratie uitgesproken door

Prof.dr. Martina G. Vijver

bij de aanvaarding van het ambt van hoogleraar in de

Ecotoxicologie

aan de Universiteit Leiden

op vrijdag 16 november 2018



**Universiteit
Leiden**

Mijnheer de rector magnificus, zeer gewaardeerde toehoorders,

1. Stoffen in de natuur

Het dorp waar ik opgegroeid ben lag midden tussen de weilanden; allemaal netjes begrensd door sloten. Op 10 minuten fietsafstand van mijn huidige woonplek is dit kenmerkende landschap eveneens te vinden. In Nederland vormen de sloten namelijk een enorm netwerk met een totale lengte van 300.000 km. Ik denk dat iedereen van ons wel eens een takje in stromend water heeft gooit, om dan te kijken waar het heen drijft. Als ecotoxicoloog breng ik nu ook veel tijd langs de slootkant door, en stel ik me de vraag wat gebeurt er als stoffen in het water danwel de natuur worden gebracht. *Waar* bevinden die stoffen zich dan, *hoeveel* zijn het er, en is er dan ook een *risico* op schade aan het ecosysteem.

Stoffen worden door de mens gesynthetiseerd of gedolven, en dan door ons gebruikt, bijvoorbeeld in de industrie, landbouw, of gewoon bij ons thuis. Hiermee brengen we stoffen in het systeem. Dat gaat alleen maar goed als de stoffen precies op de plaats blijven waar we ze willen gebruiken, en precies in de juiste hoeveelheid; binnen zogenaamde systeemgrenzen (vrij gehaald uit de theorie van Herman Daly). Onbedoeld komen stoffen echter terecht in de omliggende natuur. De concentraties kunnen dan zo hoog zijn dat milieukwaliteitsnormen worden overschreden, waardoor er gevaar ontstaat voor planten en dieren; dan zijn het opeens problematische stoffen. Uit cijfers van de online Bestrijdingsmiddelenatlas blijkt dat tot 50% van de meetpunten uitgevoerd in het Nederlandse oppervlaktewater normoverschrijdingen heeft (*2016 gegevens). Dit is ongewenst, maar wat betekent dit en is dit verontreiniging? De antropologe Mary Douglas heeft daar over nagedacht. In haar boek *Purity and Danger* (1966) identificeert ze de zorg voor puurheid als een sleutelthema in het hart van elke samenleving. Het boek is enorm invloedrijk geweest in religie, sociale theorieën en milieuwetenschappen. Waar het om gaat is dat zij “verontreiniging” identificeerde als “matter out of place” oftewel materie op de verkeerde plaats. Vanuit het perspectief

van de ecotoxicologie hebben we het dan hoofdzakelijk over problematische stoffen zoals moeilijk afbreekbare, accumulerende of zeer schadelijke stoffen, maar ook over een te veel aan stoffen.

Het is belangrijk om te realiseren dat er in onze geïndustrialiseerde wereld heel veel stoffen zijn die potentieel kunnen leiden tot een verontreiniging, of “matter out of place”. Sinds 1950 hebben we meer dan 140,000 chemische stoffen (waaronder gewasbeschermingsmiddelen) gesynthetiseerd, waarvan het overgrote gedeelte nog in productie is. Om u een idee van de omvang per product te geven: om een personenauto te fabriceren en tijdens zijn gebruikstijd te laten rijden, zijn >10,000 verschillende stoffen nodig. Van *al* deze stoffen moeten we wat afweten, als we een risico voor het ecosysteem willen inschatten. Om kennis en data daarover te verzamelen zijn er een tweetal gangbare methoden: monitoring in het veld en experimenten in het laboratorium.

3

De eerste gangbare methode is veldonderzoek, oftewel monitoring. Daarbij gaat iemand naar een bepaalde locatie en neemt daar monsters, bijvoorbeeld een liter water uit een sloot. Die wordt vervolgens verzonden naar een analytisch lab, waar kan worden bepaald welke chemische stoffen in het monster aanwezig zijn. Maar iemand kan ook met een schepnet naar diezelfde sloot gaan om te kijken welke dieren we daar vinden, om daaruit op te maken hoe de biologische samenstelling is. Data op deze wijze verzameld geeft inzage in de chemische danwel biologische kwaliteit in het veld. Als de monitoring met enige frequentie uitgevoerd wordt, kan met behulp van statistiek een beeld van de toestand van het ecosysteem over tijd en ruimte worden bepaald. Dit type data verzamelen is per definitie een retrospectieve benadering omdat de stoffen al in de natuur aanwezig moeten zijn om ze te kunnen meten. Het risico van de chemische stof kan worden bepaald door te weten hoe hoog de chemische concentraties zijn en hoe het is gesteld met de biodiversiteit op die locatie. Hoewel het basisidee eenvoudig is, is gebleken dat de interactie van de grote hoeveelheid stoffen

in de natuur erg dynamisch is. Daarnaast zijn er ook nog een enorme hoeveelheid interacties mogelijk met de wel duizenden beesten en planten in de natuur.

De tweede gangbare methode is testen in een laboratorium. Deze laboratorium testen - aangevuld met inschattingmodellen – kunnen inzage geven in hoe effecten in de natuur eruit gaan zien (dus een prospectieve benadering). Kenmerkend is dat we dan snel willen testen (zogenaamde high throughput benadering), om zo snel mogelijk grote hoeveelheden stoffen te testen op mogelijk schadelijke effecten. Hiervoor maken we vaak gebruik van cellijnen dan wel zeer snel groeiende en reproducerende organismen. De testen worden in verschillende concentraties toegevoegd, waarbij een concentratie van een factor 1000 hoger dan in de veldsituatie niet ongebruikelijk is. De focus ligt op makkelijk te scoren eindpunten. Dit zijn vaak korte termijn studies, waar over het algemeen relatief sneller geld voor kan worden gevonden. Ondanks het feit dat maar enkele lab-soorten worden getoetst en er voor het inschatten van effecten op het ecosysteem aanzienlijke theoretische tekortkomingen zijn, hebben dit soort type lab-testen bewezen aardig effectief te zijn.

Ik focus mijn onderzoek op het verkrijgen van realistische voorspellingen van *hoe* stoffen mogelijk onze natuurlijke omgeving en de daarin aanwezige organismen kunnen beïnvloeden. De cruciale vraag waaraan ik werk is dan ook: veroorzaken gesynthetiseerde stoffen een risico voor de ecosysteem op de langere termijn? Hiervoor gebruik ik een drietraps-aanpak. Ik bestudeer het gedrag van stoffen in het milieu, vervolgens of de stoffen kunnen worden opgenomen door organismen, en tenslotte wat de effecten hiervan zijn op soorten maar ook op hele levensgemeenschap. Dit type onderzoek is volgens mij van essentieel belang; immers vervuiling kan mogelijk het ecosysteem schaden en daarbij op lange termijn grote, nadelige effecten veroorzaken op aarde. Dit systeem denken is dan ook essentieel om de nodige (beleids)instrumenten te bieden voor het beoordelen en verminderen van ecosysteembreedreningen.

Deze notoire uitdaging pak ik graag aan, gebruikmakend van de ordening “matter out of place” voorgesteld door Mary Douglas. De beweging van stoffen visualiseer ik als een choreografie. In mijn rede zal ik een tweetal verhaallijnen beschrijven; allereerst de choreografie van de gewasbeschermingsmiddelen die wij inzetten bij het beschermen van onze gewassen tegen plagen. De tweede verhaallijn is de choreografie van de nanomaterialen. Nanomaterialen zijn minuscule kleine deeltjes van een stof, in de grootte van 1 – 100 nm. Om je een idee te geven, de wand-dikte van een zeepbel is 750 nm. Deze twee verschillende verhaallijnen illustreren de punten van belang in het vak dat ik beoefenen en laten zien welke uitdagingen en valkuilen je tegenkomt.

2. De dans van de agro-chemicaliën

Ik kijk naar de geïndustrialiseerde maatschappij en neem jullie mee door de eerste choreografie van de agro-chemicaliën in Nederland. Twee-derde van het oppervlak van Nederland wordt gebruikt als landbouwgrond. En niet voor niets. Zo staan we bijvoorbeeld in de wereldwijde top 5 van exporterende landen van bijvoorbeeld snijbloemen, bloembollen en glastuinbouw producten. Om dit te realiseren is het gebruik van onze grond intensief en de productie per hectare behoort tot de hoogste van de wereld. Ter vergelijking, in het Nederlandse Westland is de tomaten oogst rond de 50 kg per m² en komkommers rond de 65 kg per m², terwijl in de hoge productie regio Almeria te Spanje de tomatenoogst rond de 9.6 kg per m² is en de komkommers rond de 9.1 kg per m² (Valera et al, 2016). Om dit te bewerkstelligen wordt een groot scala aan agrochemicaliën ingezet, zoals meststoffen en gewasbeschermingsmiddelen. Er is dan ook veel aandacht binnen de overheid, landbouw, voedselindustrie, milieuorganisaties en de wetenschap om de milieukwaliteit in kaart te brengen. De cruciale vraag voor het onderzoek is dan ook: veroorzaken de agro-chemicaliën die we gebruiken bij onze teelten een onverkomelijk risico voor de leefomgeving op de langere termijn?

Als case studie volg ik de neonicotinoïden, zij behoren tot de meest verkochte middelen tegen insecten ter wereld. Ze zijn de

nieuwste opvolgers van de organo-fosfaten en hebben een specifieke werking en een relatief sneller afbraaktijd ten opzichte van de oudere organo-fosfaten. De bekendste neonicotinoïden zijn imidacloprid en thiacloprid. Het belangrijkste werkingsmechanisme van de neonicotinoïden berust op het blokkeren van de overdracht van zenuwimpulsen, waardoor insecten verlamd raken, stoppen met eten en uiteindelijk sterven door verhongering, uitdroging of doordat ze ten prooi vallen aan andere dieren. Een belangrijke toepassing van deze stoffen is de behandeling van zaaizaad: vóór het planten krijgen zaden een coating van een neonicotinoïde. Vanuit het zaad verspreiden de stoffen zich via sapstromen door de hele plant (inclusief de pollen en nectar). Dankzij de systemische werking kunnen neonicotinoïden effectief worden ingezet ter bestrijding van vraat door insecten. Een voordeel van deze manier van insectenbestrijding is dat het gewas niet meer bespoten hoeft te worden, wat de ongewenste verwaaiing (drift) naar het water en veld rond de landbouwvelden vermindert.

Neonicotinoïden worden niet alleen als zaadcoating toegepast, maar ook gespoten in kassen en in de (fruit)boomteelt, als ook in achtertuinen gebruikt ter bestrijding van mieren. Voordat deze stoffen werden toegelaten voor gebruik zijn ze uitgebreid getest. Hierbij werd gekeken naar de afbraak, chemische en fysische eigenschappen en is de toxiciteit op een aantal standaard soorten in het laboratorium getest. Uit onderzoek van het Amerikaanse milieu agentschap (de Environmental Protection Agency) blijkt dat vele soorten insecten en evertebraten worden aangetast op neonicotinoïden, maar dat er wel grote onderlinge verschillen in gevoeligheid zijn tussen soorten. Daarnaast blijkt dat ook andere soorten mogelijk worden beïnvloed. Amfibieën en vissoorten lijken niet gevoelig te zijn voor imidacloprid. Watervlooien (kreeftachtigen) zijn het standaard-toetsorganisme in veel toxiciteitstoetsen en zijn gemiddeld gevoelig.

In 2013 rapporteerde Van Dijk en co-auteurs dat op basis van veld observaties de aanwezigheid van verschillende groepen

ongewervelde waterorganismen in Nederland negatief gecorrelleerd is met de concentratie imidacloprid in oppervlaktewater. Alhoewel wij (Vijver en Van den Brink 2014) vraagtekens plaatsen bij de wijze waarop de studie is uitgevoerd, concluderen ook wij via een andere bewijsvoering, dat de huidige concentraties imidacloprid in het Nederland zeer zeker tot effecten op waterorganismen leiden. Uit een rapport van de Europese Academies van Wetenschappen (EASAC, 2015) bleek met name dat honingbijen (maar ook de vele verschillende soorten wilde bijen, hommels, vlinders en zweefvliegen) erg kwetsbaar zijn voor een zeer lage dosis neonicotinoïden. De achteruitgang van 15 soorten vogels in het landelijke gebied kon worden gerelateerd aan de concentraties van imidacloprid in het oppervlaktewater (Hallmann *et al.* 2014), als ook de sterke neerwaartse trend van insecten (Hallmann *et al.* 2018). Het waterleven bleek nog meer aangetast dan verwacht door de met neonicotinoïden gecoate zaden (Vijver *et al.* 2017).

Zou het dan toch een moderne Sisyphus zijn? Leveren de nieuwe neonicotinoïden net zoveel ecologische problemen of zelfs meer schade dan de oudere insecticiden zoals de organo-fosfaten? Uit de chemische monitoring uitgevoerd in de Nederlandse oppervlaktewateren door de waterbeheerders bleek dat ondanks de vele beleidsmaatregelen*, het aantal overschrijdingen van de toegestane concentratie aan imidacloprid in het oppervlaktewater bij bepaalde teelten veel te hoog was. De imidacloprid studie in 2016 uitgevoerd samen met mijn collega's Wil Tamis en Maarten van't Zelfde liet zien dat maatregelen in de glastuinbouw, waar de meeste overschrijdingen voorkomen, ook voor 2015 en begin 2016 niet het gewenste effect hebben gehad (Tamis *et al.* 2016). Er waren regelmatig overschrijdingen tot meer dan 20x de toegestane concentratie. Door mijn promovenda Sasha Ieromina zijn in diezelfde tijd de aquatische levensgemeenschappen en de chemische waterkwaliteit van het bollengebied rond Lisse onderzocht. Op basis van deze velddata, heeft Kees Musters met behulp van statistische bewerkingen kunnen aantonen dat de levensgemeenschappen in de watergangen in het bollengebied, de bottom-up worden gereguleerd.



Foto: Vijver

Nutriënten waren een grote voorspeller voor de aanwezigheid van taxa, roofdieren juist heel laag. Insecten zijn belangrijk omdat ze met veel zijn en als ze wegvallen dan ontstaat een cascade effect op hogere trofische niveaus. De impact van weekdieren en van kreeftachtigen zijn – als ze wegvallen door de chemische vervuiling – meer van invloed op de onderlinge samenhang en biotische interacties (Musters et al submitted). De biotische interacties worden naar mate het seizoen vordert steeds belangrijker. Het aantal en de dichtheden van soorten in een sloot zijn dan ook van groot belang in de verklaring van hoe een systeem reageert op chemische vervuiling. Dit heeft ons geleerd dat stoffen moeten worden bestudeerd als een syndroom en niet losstaand van de context, de abiotische en biotische interacties.

3. Over de lab en veld grenzen

Kortom het verhaal van deze dans (case studie) was dat lab resultaten de effecten onderschatten voor een groot aantal organismen levend in de ecosystemen aangrenzend aan de akker of kas. RIVM-collega's De Zwart en Posthuma laten zien dat slechts 1 op de 10 “problemen” wordt opgemerkt in het laboratorium, terwijl het lab wel de belangrijkste manier is om proactief negatieve effecten tegen te gaan. Een vertaalslag tussen lab en veld resultaten vereist dus een kennis-brug ... maar hoe sla je die dan? Met dat in het achterhoofd hebben we breder durven kijken en de ecosysteem complexiteit als geheel meegenomen. Deze nieuwe integratie van kennis vereist een methode van testen die we gecreëerd hebben op ons Levend Lab, namelijk experimenten onder semi-realistische veld condities. Het idee van (meso)cosm-studies stamt al uit de jaren 90 (met een OECD richtlijn daterend uit 2004). Het zijn kunstmatig gemaakte mini ecosystemen die informatie kunnen bieden over het functioneren van da systeem. Het type inrichting kan, net als in het laboratorium, gemanipuleerd worden en een test-design kan opgebouwd worden. De kracht is dat het daarmee de lab-repliceerbaarheid geeft maar dat het tevens om faciliteiten gaat die buiten onder natuurlijke condities draaien.

Het Levend Lab is gecreëerd met behulp van crowdfunding. De intensieve PR periode naast het fysiek zware werk kostte energie, maar omdat zoveel mensen erbij geholpen hebben, is dit naar mijn mening ook een van de meest energierijke faciliteiten van de Universiteit Leiden, waar we vele groepen belangstellende ontvangen, van schoolkinderen tot wetenschappers van over de hele wereld. De 38 sloten zijn gegraven op 1.5 meter diepte, waardoor het maaiveld nu op Romeinse tijd ligt. Hierdoor hebben we een schone niet-vervuilde start van de sloten. De sloten liggen aan een watercompensatie plas, die weer in connectie is met de aftakking van de rivier de Oude Rijn. Beesten en planten kunnen dan ook onze sloten koloniseren vanuit de natuurlijke omgeving. De realistische omstandigheden die we gecreëerd hebben, hebben een grote meerwaarde ten opzichte van het uitvoeren van testen in het laboratorium. Het regent er, er is wind, de intensiteit van het zonlicht varieert, er is een natuurlijk dag-nacht ritme. Maar de grote meerwaarde is dat het onderzoek dat we in de sloten uitvoeren ecologisch relevant is. Ten eerste omdat niet slechts een enkel standaard toetsdier danwel plant wordt onderzocht maar juist volledige gemeenschappen zoals die ook in natuurlijke omgevingen aanwezig zijn. De organismen komen via de watercompensatieplas zo uit de wateren van de omgeving. Er is een natuurlijke slootkant langs de sloten. Ten tweede doen we hier langdurige experimenten: menselijke invloeden zijn vaak pas na langere tijd zichtbaar terwijl lab-proeven vaak zeer kortlopend zijn. Onze experimenten monitoren we dan ook het hele jaar door.

Resultaten verzameld uit de mesocosms lieten zien dat wanneer we twee verschillende agro chemicaliën toedienden (binnaire mengsels), de toxiciteit goed te voorspellen was aan de hand van kennis opgedaan uit het laboratorium. Echter als er meer dan twee stoffen tegelijkertijd werden getest, was de toxiciteit niet meer te voorspellen aan de hand van lab-resultaten (Barmentlo et al 2018). Toen we onze onderzoeksfocus gingen verleggen naar stoffen in combinatie met voedselaanbod, zagen we schokkende resultaten. Promovendus Henrik Barmentlo

zag dat watervlooiën die in kooitjes uitgehangen waren in sloten waar thiacloprid was toegevend, maar liefst een factor 2500 gevoeliger waren onder veldcondities vergeleken met de lab resultaten (Barmantlo et al 2018). De verschillen kunnen grotendeels verklaard worden door de kwaliteit en kwantiteit van het voer (dit geval de algen) die de watervlooiën tot hun beschikking hadden. Onder laboratorium condities hebben dieren een overschot aan voedsel beschikbaar, maar dit geeft zoals wij zien dus een grote onderschatting van de risico's. En dit was niet een eenmalig resultaat, want ook de testen met waterjuffers lieten een gelijksoortig verschil zien wanneer er veel voedsel versus natuurlijk voedsel bij de stress werd aangeboden.

Daarnaast keken we naar het meer complexe samenspel van organismen. Hier vonden we vergelijkbare, onverwachte effecten. Zo vonden we dat de toevoeging van thiacloprid in milieu-relevante concentraties de samenstelling van de gemeenschappen deed verschuiven. Op de voedselketens had het een directe impact, interacties tussen organismen werden verstoord. Dit was met name te zien omdat er nauwelijks meer roofdieren werden gevonden in sloten die met thiacloprid waren behandeld. De thiacloprid had hier een effect op de roofdieren via het verdwijnen van hun voedselbron (namelijk de plantetende evertibraten): ze hadden te weinig voedsel en verhongerden (gegevens 2017). Eutrofe condities (dus waarbij optimale en hoge hoeveelheden nutriënten zijn) zorgen weer voor een andere interactie met de neonicotinoïden: ze verminderen de impact op het ecosysteem.

Wat betekent dit nu? Waarom is dit belangrijk? Het vertelt ons dat testen in lab condities een versimpeling zijn die niet altijd even goed een voorspelling kunnen geven van de natuurlijke condities (Jeromina proefschrift, Barmantlo 2017). En dat is belangrijk, omdat het een fundamenteel probleem met de huidige toxiciteit testprotocollen blootlegt. We gebruiken deze protocollen om ons milieu te beschermen: we schatten effecten op een ecosysteem meestal in alsof het ecosysteem slechts de

optelsom is van een handvol soorten blootgesteld aan een enkele zuivere verbinding onder constante laboratorium omstandigheden. Wij laten keer op keer zien dat dit niet kan. Hier ligt een enorme kennislacune; en gelukkig wint de noodzaak om niet alleen afzonderlijke soorten te testen, als ook de abiotische fluctuaties mee te nemen, momentum.

Met hulp van vele studenten, collega Maarten Schrama en Henrik Barmantlo hebben we de experimenten in 2018 nogmaals herhaald voor alleen thiacloprid (dus zonder nutriënten) en dan met een nog grotere opzet waarbij water, waterbodem en slootkant werd meegenomen. In de voorbereidende maanden zijn er meer dan 60,000 individuen geteld, en minstens 140 soorten. Thiacloprid werd toen in 3 verschillende concentraties aan de sloten toegevoegd, en de organismen zijn daarna maanden achtereen gevolgd. Het functioneren van de microbiële levensgemeenschap bleek niet of nauwelijks veranderd. De thiacloprid bleek echter een significant effect te hebben op het aantal organismen dat gevonden kan worden per meter sloot; namelijk van gemiddeld 800 naar zo'n 480 individuen per sloot-meter. Wat duidelijk zichtbaar was, was dat na verloop van 2 maanden enorme algen hoeveelheden opkwamen terwijl het van nature toch een voedselarm systeem is. Het mechanisme van deze algenbloei (ook wel bekend als eutrofiering verschijnselen) is toe te schrijven aan het feit dat de planteneters wegvallen. Hiermee verschoof dus net als bij de resultaten uit 2017 de gehele levensgemeenschap in soortensamenstelling.

Kijkend naar de muggensoorten zagen we ook de impact van de thiacloprid. Muggenlarven bevinden zich in de waterbodem. Als ze zich ontwikkelen tot volwassen-dieren dan ondergaan ze een metamorfose en vliegen ze uit het water. Door vangnetten te zetten belanden de uitvliegende muggen in de val, waaraan een fles alcohol hangt. Zo kunnen de soorten geteld worden. Wat de resultaten lieten zien was dat de hoeveelheid muggen die uitvliegen gelijk blijft bij verschillende concentraties aan thiacloprid in de sloten. Het uitvlieggedrag vertraagde wel in de sloten waar thiacloprid was toegevend,

en de soorten samenstelling was eveneens anders. Nu zou u misschien denken: fijn, het duurt langer voordat muggen uitvliegen, dus minder last voor mensen. Maar muggen zijn – als ze uit het water zijn – een belangrijke voedselbron voor vogels, vleermuizen, spinnen; kortom beesten levend op de slootkant en op het aangrenzende land. Onze tellingen van wolfspinnen op de kanten langs de sloten lieten zien dat de volwassen spinnen veel moeite hebben om genoeg voedsel te vinden in onze Levend lab experimenten op die plaatsen waar thiacloprid was toegediend. De impact van de neonicotinoïde gaat dus verder dan alleen het beïnvloeden van de chemische en de ecologische waterkwaliteit. Heel expliciet galmt de impact na over de grenzen van het watersysteem, in de levensgemeenschap die leeft op het land en in de lucht. Dit leert ons dat deze zogenaamde cross-ecosysteem effecten expliciet moeten worden onderzocht; niet alleen omdat stoffen grenzen van systemen doorkruisen, maar ook omdat de ecologische effecten hun echo hebben in de andere verbonden ecosystemen.

4. De dans van de nanomaterialen

Mijn tweede verhaallijn gaat over de gesynthetiseerde nanomaterialen, minuscuul kleine deeltjes die gebruikt worden in vele toepassingen en waarvan wordt geclaimd dat ze producten duurzaam maken. Het feit dat de deeltjes klein zijn maakt dat ze unieke eigenschappen hebben ten opzichte van dezelfde deeltjes die groter zijn. Stel u wilt krassen op het oppervlakte van uw auto vullen, dan kunt u die vollediger opvullen met extreem kleine deeltjes dan met grotere deeltjes van hetzelfde materiaal. De oppervlakte-volume ratio van kleine deeltjes is vele malen groter dan voor grote deeltjes en doordat er relatief meer atomen aan de oppervlakte zitten, zijn de deeltjes dan ook hoog reactief. Een mooi voorbeeld dat aantoonst dat de eigenschappen van nanomaterialen al lange tijd gebruikt worden, zijn de glas-en-lood ramen uit de 4^e – 16^e eeuw die je in de vele kerken en kathedralen tegen komt. De prachtige kleuren die zichtbaar worden zodra het zonlicht op de ramen schijnt worden veroorzaakt doordat er in de verf metaal-houdende nanodeeltjes zitten. Ook zogeheten dichroïsch glas, dat maakt

dat glas in reflectie een andere kleur heeft dan in transmissie, wordt veroorzaakt door goud- en/of zilver- nanodeeltjes. Nano-kunst dus.

Het idee om individuele atomen te manipuleren werd geopperd in een beroemde lezing “There’s plenty of room at the bottom” gegeven door Richard Feynman tijdens de jaarlijkse American Physical Society-bijeenkomst in Californië in 1959. Feynman was een theoretisch natuurkundige, bekend van de Feynman diagrams die de Nobel Prijs voor zijn bijdrage aan de quantum electrodynamicica. Ondanks het feit dat dit nu wordt gezien als een belangrijke lezing in het veld van nanotechnologie, bleef hij toch lange tijd onopgemerkt en velen vragen zich af of Feynman echt aan het conceptuele begin van de nanotechnologie staat, omdat hij zijn ideeën niet koppelde aan de ontwikkelingen van microscopie-technieken in de periode na de lezing. Maar Eric Drexler werd door Feynman geïnspireerd. Drexler nam in 1986 het Feynman-concept van “*een miljard kleine fabrieken*” en het idee dat ze meer kopieën van zichzelf konden maken en schreef het boek *Engines of Creation: The Coming Era of Nanotechnology*. Dat in het jaar 2016 door prof. Ben Feringa (collega uit Groningen) daadwerkelijk zelfvormende mini-machines zijn ontwikkeld is bekroond met de Nobelprijs.

Vrijwel elk materiaal kan nu op nano-schaal gemaakt worden. Ze worden dan ook verwerkt in technologieën waarmee wij elke dag te maken hebben; een concreet voorbeeld van het wijdverbreide gebruik van dit type nanotechnologie is te vinden in airbags. Andere commerciële toepassingen waarin nanomaterialen worden gebruikt zijn in verbeterde computerschermen, binnen micro-elektromechanische systemen, lichtgewicht materialen. En, verrassend genoeg, zitten ze ook in producten zoals zonne-creme, koffiëcreamer, in allerlei voedingsmiddelen en in medicatie. De Europese Commissie schatte de wereldwijde nanomaterialen markt in 2016 op tientallen miljoenen ton productie per jaar. De jaarlijkse groei kent een prognose van 22% per jaar en is exponentieel over tijd. Nanotechnologie wordt dan ook gezien



Foto: Vijver

als de technologie die welvaart en innovatie brengt, een nieuwe bron van economische groei.

Maar vanuit de tijd van de industrialisatie waarin veel stoffen gesynthetiseerd zijn weten we dat alles wat nieuw is ook mogelijke nadelen kan meebrengen. Hoewel de groeiende bezorgdheid heeft geleid tot vele studies gericht op nanotoxicologie, zijn de onderliggende mechanismen van toxiciteit van nanomaterialen nog steeds onduidelijk. Hier komt dan weer de cruciale vraag: veroorzaken de gesynthetiseerde nanomaterialen een onoverkomelijk risico voor de leefomgeving op de langere termijn?

Laten we als voorbeeld sportsokken nemen, hierin worden zilver-nanodeeltjes verwerkt met als doel het wegnemen van zweetgeuren. Elke keer als we die sokken wassen zullen zilver-nanodeeltjes via het spoelwater in ons afvalwater terecht komen. Dit is een goed voorbeeld van dissipatieve verspreiding, namelijk nauwelijks te voorkomen tenzij je het gebruik van nanozilver in sokken verbied. Via het spoelwater en de rioolwaterzuivering komt een deel van het nanozilver uiteindelijk in het oppervlaktewater terecht, waar ze verschillende processen ondergaan. De deeltjes zullen in suspensie blijven en niet oplossen zoals chemische stoffen die uit moleculen bestaan. Deeltjes kunnen daardoor gaan drijven, danwel samenklonteren en naar de bodem zinken. Ook zal een metaal-houdende nanodeeltje ionen loslaten die dan oplossen in het water.

De resultaten van promovendus Yinlong Xiao, en post docs Daniel Arena-Lago en Fazel Monikh laten duidelijk zien dat de blootstellingscondities een sterke invloed hebben op het gedrag en lot van nanomaterialen. De resultaten toonden aan dat kationen en opgelost organisch materiaal (DOC) veel van de aggregatie van koperdeeltjes konden verklaren. Indien er organisch materiaal in het water bevindt - en let wel, *elk* natuurlijk water bevat dat - zal het deeltje zich stabiel gaan gedragen. Resultaten waarbij de invloed van pH werd onderzocht lieten zien dat wanneer water een lage pH heeft, er meer ionen van de

deeltjes afkomen. Deze afhankelijkheid van waterchemie maakt dat het nanodeeltje continu onderhevig is aan veranderingen; wat resulteert in enorme fluctuaties aan blootstelling voor alles wat in dat water leeft. Want in datzelfde oppervlaktewater leven een veelheid aan dieren en planten, zowel in de waterkolom als in de sediment-laag waar de zwaardere samengeklonterde nanodeeltjes zich bevinden. Ondanks dat dit bekend is, worden er nauwelijks inspanningen gedaan door wetenschappers noch risico-inschatters om de fysisch-chemische dynamiek van nanodeeltjes te integreren met de effect-mechanismen zodat het risico voor ecosystemen kan worden ingeschat.

Metaalhoudende nanodeeltjes zijn een belangrijke groep nanodeeltjes en één van de eerste nano's die onderzocht kunnen worden (1^e generatie nanodeeltjes Savolainen et al, 2013). Het is al duidelijk dat metaalhoudende nanodeeltjes bestaan uit een mengsel van deeltjes en ionen. Om te begrijpen hoe belangrijk deeltjes zijn voor de toxiciteit, en in hoe verre de effecten toe te schrijven zijn aan de loskomende ionen, experimenteren en modelleren wij – als 1 van de weinige onderzoeksgroepen in de wereld - de relatieve bijdragen van deeltjes en hun vrijgegeven ionen op accumulatie en op de effecten. Dit hebben we gedaan voor de watervlo *D. magna* (promovendus Yinlong), voor cellijnen (promovendus Lan Song) en zebra vis larven (promovendus Jing Hua). Uit al deze resultaten kwam naar voren dat de toxiciteit van koperhoudende nanodeeltjes bij veel verschillende organismen voor 60- a 70% aan deeltjes kan worden toegeschreven en 30-40% aan ionen. Voor zinkhoudende deeltjes kwamen we op een vergelijkbaar ratio (Hua et al 2014, Zhai et al 2017). Voor de loodhoudende deeltjes kwamen we echter op een bijdrage van de deeltjes van slechts 20% (Zhai et al 2017) wat waarschijnlijk verklaard kan worden door de structuur van de zogeheten perovskieten die direct uiteenvalt en oplost. Door de contributie van de deeltjes te snappen kunnen we modellen ontwerpen die de risico's van de deeltjes op basis van colloïden eigenschappen inschatten, waarbij we de kennis over de chemische samenstelling op basis van chemische eigenschappen kunnen inschatten.

Dan is de vraag hebben de nanodeeltjes ook een grote affiniteit om te adsorberen – te plakken - aan organismen. Immers de huid, kieuwen en de darmen van waterorganismen staan voortdurend bloot aan nanomaterialen. Om dit te begrijpen hebben we in het promotie onderzoek van Marinda van Pomeran studies uitgevoerd met larven van zebravissen die we hebben blootgesteld aan de nanodeeltjes suspensies. In 5 dagen oude zebravis-larven zagen we dat de darmwanden volop nanodeeltjes bevatten. Door verschillende afmetingen te gebruiken konden we concluderen dat deeltjes die groter dan 50 nanometer zijn aan de darm bleven plakken. Deeltjes kleiner dan 50 nanometer passeerden de darmen. Deze schoten dan de bloedbanen in en we vonden ze overal in het lichaam terug, zoals in de vette organen en weefsels maar ook in de ogen (Van Pomeran et al 2017). In het onderzoek van post doc Nadja Brun zijn zwangere watervlooiën blootgesteld aan nanodeeltjes die we gekleurd hebben met een lichtgevende verf. Hierdoor kunnen we de deeltjes in het lichaam volgen. Wat we zagen was dat het darmweefsel wederom een plek is waar de deeltjes zich bevonden. Tot onze grote verrassing zagen we eveneens dat de ongeboren watervlooiën omhuld waren door de nanodeeltjes (Brun et al 2018). Uit een andere studie (Cui et al 2017) was op te maken dat dat wanneer de zwangere watervlooiën blootgesteld zijn aan nanomaterialen, de nakomelingen een lastige start van hun leven hebben.

Maar, maakt het eigenlijk uit als er opname is? Dat is een belangrijke vraag waar ik me mee bezig houd en die blijkt lastig te beantwoorden. De ecotoxicologische testen in het lab worden momenteel met vrij hoge dosis aan deeltjes uitgevoerd. *Acute* effecten door nano's bij organismen die *korte* tijd blootgesteld zijn, zijn vrijwel niet gevonden. Wel zijn er meer subtiele verschuivingen gevonden in de microbiële gemeenschappen qua samenstelling en functioneren door promovenda Yujia Zhai. Het blijft zeer onduidelijk wat het effect is van een langdurige blootstelling aan een lage dosis. Een grote puzzel die we binnen een internationaal consortium zullen gaan oplossen is om de subtiele responsen die organismen laten zien verder via

mechanistische benaderingen (onder andere Adverse Outcome Pathways) te vertalen naar apicale toxiciteits-eindpunten op soortniveau, populaties en levensgemeenschappen.

Hoe de nanomaterialen impact hebben op biotische interacties is iets wat nog nauwelijks wordt onderzocht en in dat onderzoek lopen wij voorop. Tom Nederstigt werkt binnen zijn promotie-onderzoek aan de impact van nano's op multi-generatie eindpunten, en kijkt naar verschuivingen in biotische interacties. Promovenda Bregje Brinkmann kijkt ook naar biotische verschuivingen. Zij onderzoekt de impact van nanomaterialen op de microbiome en hoe die dan weer invloed heeft op de vitaliteit van zijn gastheer de zebravis. Met promovenda Juan Wang en Qi Yu kijken we of nanomaterialen ook zich door voedselketens heen bewegen, daarbij kijken we naar interacties tussen planten en planteters, en prooi en vlees-etende roofdieren. Door deze verscheidenheid durven we iets te zeggen over individuele soorten maar ook over de impact van nanodeeltjes op de levensgemeenschappen in het water. Multi-stress effecten en situatie waarbij organismen zich net niet in hun optimale milieu-condities verkeren bestudeer ik met collega Thijs Bosker. De eerste experimentele stap richting het werken onder semi-veld condities zijn dus al in gang gezet. Wij zijn als groep dan ook duidelijk in de kennislacune gestapt om begrip van lange termijn effecten van de nanomaterialen onder natuurlijke condities te vullen.

5. Toekomstige impact voorspellen

Juist voor beginnende technologieën met nieuwe stoffen, waarbij nog nauwelijks verontreinigende emissies hebben plaats gevonden is het ontzettend belangrijk dat er gekeken wordt naar de mogelijke ongewenste negatieve impact, voordat ze massaal in het milieu terecht komen. Met de nanotechnologie zijn ook nieuwe stoffen en producten ontwikkeld, waarbij duurzaamheid vaak tijdens de ontwikkeling hoog in het vaandel staat. Maar zijn die nieuwe technologieën in de praktijk echt duurzamer? Dat is één van de overkoepelde vragen waaraan mijn collega's van de afdeling Industriële Ecologie werken.

Als je nanodeeltjes in zonnepanelen gaat verwerken, kan dat percentage waarmee zonlicht wordt ingevangen met 10 procentpunten verbeteren. Dat is enorme winst. Maar zijn deze panelen, die alleen nog op de tekenafel bestaan, ook duurzamer dan de zonnepanelen die nu op de daken liggen? Dat valt nog te bezien, want om nanodeeltjes moet je werken in ultraschone en gecontroleerde condities, wat veel energie kost. En wat gebeurt er met de nanodeeltjes als de panelen na pakweg zestien jaar vervangen worden, om maar te zwijgen over verliezen tijdens die periode? Aan de ene kant zouden die nieuwe zonnepanelen duurzamer zijn, maar in het hele proces zitten ook delen die beduidend minder duurzaam zijn dan de huidige panelen. In dit kader doen promovendi Carlos Blanco Rocha en Georgios Pallas hun Levens-Cyclus Analyse (LCA) voor nieuwe ontwikkelingen in de zonnepanelen sector. Bij deze methode wordt de impact van het gehele leven van producten in kaart gebracht, om zo in te schatten of er daadwerkelijk op de lange termijn milieuwinst is te behalen.

Dit zijn toekomstige scenario's die moeten worden voorspeld aan de hand van zeer weinig kennis en data (Collingridge Dilemma (1980), waardoor onzekerheden inherent zijn en groot. De onzekerheid rond de toekomst worden kleiner, als de technologie volledig ontwikkelt is. Maar dat is achteraf gepraat. We kunnen achteraf mogelijk wel zeggen dat het bij de ontwikkeling van plastic of gewasbeschermingsmiddelen anders had gemoeten, maar als een product of technologie eenmaal in gebruik is, is er veel geïnvesteerd in de ontwikkeling en wellicht hebben duizenden mensen hun baan in die sector. Dan kom je op een gegeven moment op een punt waarbij het steeds lastiger wordt om de stekker uit de fabricage en het gebruik van het product te trekken. Ook al is het product of de technologie niet zo goed voor het ecosysteem. We kunnen onze menselijke activiteiten slechts zelden overzien met al haar consequenties. Toch willen we vooruitlopend op de technologie risico-inschattingen maken voor het gebruik van nanomaterialen en nieuwe opkomende stoffen. Dit is het type "in-to-the-future" analyses die wij oppakken door een combinatie van risico-inschattingen

en levenscyclus analyses toe te passen op de hele keten. Het nadenken over nieuwe producten met deze 2 raamwerken in het achterhoofd is essentieel. Deze manier geeft kansen om de "green" and "clean" claims van nieuwe technologieën te begeleiden en leiden. Het zou de onderzoek-financierders sieren als er bij grote subsidies voor ontwikkelingen ook een klein deel van het geld gespendeerd moet worden aan de milieu-veiligheid. Ook kan de universiteit met kennis en duurzaamheid in de portefeuille, hun onderzoekers aanmoedigen om te reflecteren op milieu-veiligheid wanneer ze werken aan hun uitvinding.

6. Over het continuüm der gebeurtenissen

Kom ik toch terug bij de jaren 60 waarin Rachel Carson al de noodklok luidde door aan te tonen dat het toenmalige gebruik van gewasbeschermingsmiddelen of zoals ze liever schreef biociden, veel meer effecten gaf dan allereerst gedacht. Met haar kennis die ze verwoordt heeft in haar boek *Silent Spring* is zij verantwoordelijk voor het lanceren van passages in beleidsstukken rond schone luchtkwaliteit (de Clean Air Act 1963), natuurbeheer (Wilderness Act 1964, Endangered Species Act 1972) maar ook de milieu wetgeving (Environmental Policy Act 1969). Buiten USA werd dit opgepikt en heeft het Centre for Ecology and Hydrology in de United Kingdom maar ook het RIVM in Nederland veel stappen gezet zodat het hedendaagse milieu middels beleidsmaatregelen zo goed als het gaat beschermd wordt. Carson was niet alleen actief in het bewustzijn creëren van de negatieve gevolgen van voortgang maar heeft ons ook twee vergezichten gegeven. Namelijk het bewandelen van het chemische pad of "the other road". Laten we met "the other road" beginnen. Dat houdt in dat we moeten meewerken met de natuur, met hier en daar enige manipulatie maar niet het volledig overnemen van de natuur aangezien dat destructief is. Stoppen met het gebruik van veel van onze gemaakte stoffen houdt dat dus in. Dit komt overeen met het duurzame ecologische pad kiezen zoals vandaag de dag besproken wordt, en al in 1962 door Carson is bepleit. Is dit dan het continuüm der gebeurtenissen?



Foto: Radiol

Ik ga nu verder met het chemische pad. Omdat dat veelal is ingeslagen door de geïndustrialiseerde landen, en mijn werkzaamheden zich vaak op dit pad afspelen. Veralgemeiseerd, volgens de Amerikaanse gedachtegang van het beleid rond stoffen gaan we uit van innovatie en kansen en moeten we daarna bewijzen dat iets schadelijk is, dus “innocent until proven guilty”. Vanuit de Europese gedachtegang zijn het voorzorgsbeginsel, dus “guilty until proven innocent” waarbij emissie-reducerende plannen als preventieve maatregelen om het risiconiveau te verlagen worden ingezet. Welk advies kunnen wij met ons onderzoek nu meegeven aan het beleid? Let wel ik ben geen beleidsmaker. De uitdaging van a. de *problematische stoffen* en b. het *te veel aan stoffen* gaat hand in hand met de risicobeoordeling van opkomende chemicaliën waarvan we weinig gegevens en kennis hebben. Binnen de Europese REACH verordening zijn hiervoor lijsten opgesteld voor het classificeren van probleemstoffen. En al staan stoffen op deze lijst, dan nog missen we vaak vele toxiciteitsgegevens. Of zijn ze niet representatief voor de effecten in het veld vanwege allerlei redenen, zoals de twee verschillende verhaallijnen van mijn gekozen choreografieën lieten zien.

Moeten dan alle problematische stoffen getest worden via de mesocosm benadering zoals we in het Levend Lab hebben? En slaag je er met deze intensieve methode dan wel in om risico's te karakteriseren voor vele duizenden stoffen? *Ja*, het is nodig omdat we dan echte data hebben, maar voor alle stoffen is dat zondermeer *niet* haalbaar. Hoe houden we dan de vinger aan de pols wat betreft het toelaten van stoffen op de markt? In het promotie onderzoek van Pim Wassenaar samen met het RIVM gaan we middels similariteitsmodellering en read across extrapolatie inschatten wat stoffen doen qua gedrag, lot en toxiciteit. Op basis van deze modellering kunnen we dan accurater prioritering voor testen geven. Om een verdere uitwerking te geven aan de kwantificering van de dynamiek van stoffen en de cross-ecosysteem effecten is samenwerking met ecologische modelleers, hydrologische en geologische modelleers, biostatistici, en wetenschappers werkend aan artificial intelligence zeer essentieel.

Verder pleit ik ervoor dat naast de laboratorium resultaten bij het toelaten, post-registratie monitoring een vereiste is om de risico's in het veld te blijven volgen. Vanuit allerlei verschillende hoeken wordt monitoring uitgevoerd. Het zijn niet alleen veldbiologen en wetenschappers die soorten zien verdwijnen. Ook de waterbeheerders (en regionale overheden) hebben monitoringsprogramma's die opgezet zijn binnen beleidskaders zoals de Europese Kaderrichtlijn Water en de Bodem Directive – met als doel de algemene milieukwaliteit in kaart te brengen. Door gezamenlijke inspanningen zouden de momenteel versnipperde databases systematisch te combineren en te centraliseren zijn, waardoor, een uitgebreid netwerk aan monitoring-data na registratie kan worden behaald. Het niet gekoppeld zijn van deze databases en het ontbreken van juridische kaders houdt het tegen om veldobservaties steviger in te zetten in het toelatings- en milieukwaliteitskader (Vijver et al 2017). Gewoon een gemiste kans in deze tijd van ontwikkelingen rond databases, big data en statistische technieken.

Over de inrichting van monitoring zijn momenteel veel discussies. Monitoring is vaak een punt-opname in tijd en ruimte waarbij nog al eens gericht gezocht wordt naar enkele chemische stofgroepen danwel enkele ecologische sleutelsoorten. De discussies over nieuwe monitoring zijn dan ook gericht op hoe tot een tijds-geïntegreerde meting te komen en hoe tot een meting die inzage geeft in het effect veroorzaakt door de vele stof-organisme interacties. De effect-based biomonitoring zou hierin een aanvullende oplossing kunnen zijn. Die effect-based monitoring kan vele invullingen hebben: bijvoorbeeld *in situ assays* (dus kooien hangen in de sloten), maar ook nieuwere technieken zoals environmental DNA waaraan mijn collega Krijn Trimbos onderzoek doet of vanuit de optische technieken om waterkwaliteitsparameters te meten met optische technieken waar promovendus Olivier Burggraaf aan werkt. We verfijnen hiermee onze inzichten op “het chemische pad”, kennis die niet noodzakelijkerwijs leidt tot wat we nodig hebben op “the other road”.

7. Het samenspel

Wanneer ga je nu als wetenschapper het maatschappelijke debat opzoeken en wanneer niet? Ik ben een voorstander van sociale bevlogenheid die hand in hand gaat met de wetenschap. Het uitdragen van wetenschappelijke vondsten richting publiek en scholieren is ontzettend leuk. Dat is ook de reden waarom ik meegedaan heb met de *Universiteit van Nederland* (2017) en komend jaar op publieke podia lezingen zal verzorgen. Een ander voorbeeld is dat we erin geslaagd zijn om in samenwerking met pedagogen een lesprogramma te ontwikkelen waaraan per jaar 800 basisschool kinderen meedoen. Zij mogen dan het Levend Lab bezoeken en leren over de biodiversiteit van de sloot. Tientallen bedrijfs-uitjes hebben afgelopen jaar plaats gevonden op ons mooie lab. Met deze activiteiten staat ons Levend Lab volledig in de maatschappij.

16

Onze bestrijdingsmiddelenatlas.nl is een ander goed voorbeeld van open naar buiten communiceren. Veelal hebben we interessante en spannende discussies met verschillende actoren zoals de glas-en tuinbouw sector, de waterbeheerders als ook natuurbeschermingsorganisaties. Ondanks goede interessante debatten kan er af en toe een lastige discussie tussen zitten die gevoerd wordt op basis van emotie. Dat is niet te voorkomen en zeker in een maatschappij met twitter en andere sociale media, een zaak waar we mee moeten leren omgaan. Wat we nooit moeten vergeten is dat wetenschap in moreel opzicht neutraal is. Openheid, reproduceerbaarheid en transparantie zijn kernwaarden van de Universiteit Leiden. Daaraan conformeren we ons met ons werk. Mijn ervaring opgedaan bij de dans van de agro-chemicaliën heeft mij geleerd dat we er voor moeten kiezen om eerst goede feiten te hebben en dat we tot die tijd dus terughoudend moeten zijn met deelnemen in een debat. Belangen van verschillende actoren zijn in de ecotoxicologie vaak groot, als voorbeeld: Sommigen spreken over de zware belasting die *bestrijdingsmiddelen* voor de natuur betekenen, anderen spreken vooral het nut van *gewasbeschermingsmiddelen* in de intensieve landbouw in relatie tot de voedselzekerheid. Communiceren met mensen uit diverse werkvelden is reuze interessant en prikkelend. De woordkeuze

en de manier van communicatie moet dan ook zorgvuldig; en zeer zeker geënt op feiten uit onafhankelijk onderzoek volgens de wetenschappelijke norm.

Dit zijn ook de academische vaardigheden die wij als docenten-team bijbrengen aan studenten en promovendi. Al een tiental jaar mag ik onderwijs geven en promovendi opleiden. Naast het overdragen van reguliere academische vaardigheden is mijn streven om ook mijn enthousiasme voor de wetenschap over te brengen. In onze samenleving maken we een onderscheid tussen werk en vrije tijd. Het is de bedoeling dat je werkt om genoeg geld te verdienen zodat je in je vrije tijd iets totaal anders kunt doen, 'voor de lol'. Volgens de Britse filosoof Alan Watts is de scheidslijn tussen werk en plezier puur een cultureel fenomeen, bedoeld om de economische machine gaande te houden. Werk is in onze kapitalistische maatschappij nu eenmaal niet iets waar je al te lichtjes over moet denken. Nu is dit verantwoordelijkheidsgevoel, of plichtsgevoel, niet per se slecht. Maar door te zeggen dat er én werk is én plezier, ontstaat er een tweedeling. Ik wens de jongere generatie toe dat deze tweedeling verdwijnt, en dat de mensen die ik opleid met mijn enthousiaste voor het onderzoek aansteek.

Daarbij heb ik een speciale boodschap voor de helft van de studenten populatie. Namelijk, meer dan de helft van de studenten die afstuderen is vrouw, maar bij elke volgende stap op de wetenschappelijke carrière ladder neemt het aandeel vrouwen drastisch af. Slechts 18 procent van de hoogleraren is vrouw en de groei gaat langzaam (peiling diversiteit 2018). Het zal nog tot 2054 duren voordat er een evenredige man-vrouwverdeling onder hoogleraren is ontstaan in Nederland, zo is de verwachting. Dat was dan ook de aanzet om samen met Miranda van Eck in 2016 het vrouwen netwerk RISE op te richten. Uit heel veel onderzoeken blijkt dat de juiste balans tussen mannen en vrouwen, creativiteit en innovatie stimuleert (NWO Gender Equality Plan, 2018). Aandacht voor genderneutraal taalgebruik maar ook genderdiversiteit in het instituutmanagement is dan ook aan te bevelen. Gevraagd en ongevraagd – maar altijd gewaardeerd

- brengen wij advies uit aan de faculteit op hun beleid. Ons prachtige 2-jaarlijkse verantwoordingsverslag laat zien dat we al 70 leden hebben die we workshops aanbieden om professionele vaardigheden te versterken. Nog belangrijker is het dat we een netwerk aanbieden waarbinnen de wetenschappers elkaar kunnen vinden en een sfeer neerzetten die maakt dat we elkaar zien, helpen en samenwerken. En meiden, wetenschap prikkelt je tot nadenken, formuleren en is gewoon enorm leuk!

8. Refrein

Terug naar het thema ecotoxicologie; we kunnen concluderen dat er veel “matter out of place” is en het inschatten van *waar* bevinden die stoffen zich dan, *hoeveel* zijn het er, en is er dan ook een *risico* op schade aan het ecosysteem is lastig. Voor de jaren 60 waren we de toeschouwers van de dans, de natuur was de choreograaf. Verwonderd aanschouwden we de mysteries om ons heen en waren we geschokt als ons handelen een impact had. Tegenwoordig denken we de choreograaf te zijn en dus de wereld onder controle te hebben. We synthetiseren vele stoffen waarbij we de dans qua snelheid en richting naar onze hand denken te zetten. Maar de dans die wij neerzetten is alleen gericht op de uitvoering zelf, op het behalen van één specifieke doelstelling. We zijn hierbij mijn inziens 3 zaken vergeten. Namelijk 1. dat we niet alleen werken maar dat we moeten samenwerken met een choreograaf “de natuur” die vele malen groter is dan wijzelf. 2. Dat een goede choreograaf *bewuste* keuzes zou moeten maken over welk verhaal ze wil vertellen. Daarbij expliciet nagedacht hebbend over het aantal spelers (stoffen) op het podium, welke danspassen ze maken (het milieuedrag), waar de gewenste climax zit (de target) en welke segmenten van het publiek vooral geboeid moeten worden (de compartimenten). 3. En wat we gaan doen als het doek valt (de target bereikt is) maar de voorstelling toch doorlopend blijkt te zijn, mogelijk met een grote nasleep.

9. Dankwoord

Graag wil ik aan het einde van mijn rede enkele woorden van dank uitspreken. Ik dank de rector en het College van Bestuur

van de Universiteit Leiden voor het instellen van de leerstoel. Het Faculteitsbestuur en met name Geert de Snoo dank ik voor het vertrouwen dat ik krijg. Daarnaast ook dank voor je enthousiasme bij het realiseren van onze Levend Lab faciliteit. Alle waardering en dank ook naar ons CML management team voor de vrijheid die ik krijg om mij zelf en mijn groep te ontwikkelen. Mijn afdeling EB bedank ik voor de inspirerende discussies en ik wens deze samenwerking met de groep onder leiding van Peter van Bodegom ook voor de toekomst. Dit zelfde geldt voor mijn samenwerkingen met de afdeling IE onder leiding van Arnold Tukker, want het ecotoxicologische veld kan alleen over de grenzen van afdelingen heen floreren. Natuurlijk kan ik niet voorbijgaan aan Willie Peijnenburg, mijn wetenschappelijke maatje, wij vullen elkaar effectief aan. En het warme wetenschappelijke nest waar ik vandaan kom. Ook al heb ik zoveel mogelijk mensen genoemd in mijn rede, het is onmogelijk al mijn collega's en samenwerkende partners op te noemen, maar *weet* jullie zitten allemaal in mijn hart.

17

Dat ik deze passie kan volgen is mede te danken aan mijn collega's, aan mijn vrienden, mijn schoonouders en ouders. Pa en ma jullie zijn altijd komen kijken in de laboratoria, de veldstations en waar ik ook maar werkte. Dat doet me goed. Hugo en Tessa, ik ben natuurlijk beretrots wanneer ik zie dat jullie zo genieten van water, zwemmen, en bootje varen. En ook al voel ik me soms schuldig omdat het hard ploeteren is om een baan te hebben die zoveel uren in beslag neemt, daarnaast moeder te zijn en echtgenoot, ik weet ook dat we met z'n allen veel leuke dingen doen juist door mijn baan. Ik kan niet anders zeggen dan dat ik de meest fanatische man heb, je geeft mij ruimte en vrijheid. Michiel dankzij jouw werk en kookkunsten krijgen we niet gewoon nutriënten binnen maar echt goed eten. Zonder jou zou dit leven van wetenschapper met kinderen niet kunnen bestaan. Dankjewel.

Ik heb gezegd.



Foto: Vijver

10. Voetnoten

*Data zijn getoetst ten opzichte van de jaargemiddelde milieukwaliteitsnorm JG-MKN afkomstig van de Kaderrichtlijn Water. Voor stoffen waar deze norm niet van bekend is, is aan het maximaal Toelaatbaar Risico (MTR) getoetst. Het grootste verschil tussen MTR en JG-MKN is dat het MTR zich alleen richtte op directe effecten op waterorganismen, terwijl de JG-MKN ook rekening houdt met doorvergiftiging van zoogdieren en vogels via het eten van vis en/of schaaldieren, en blootstelling van mensen via consumptie van vis(producten) en/of schaaldieren.

*Tussen 2010 en 2014 zijn er veel maatregelen rond de toelating en het gebruik van neonicotinoïden getroffen, o.a. werd imidacloprid in 2011 en 2013 aan een herbeoordeling onderworpen (Ctgb en EU i.v.m. vermeende effecten voor bijen, en in 2014 is een aanscherping van toelatingscriterium voor aquatisch ecosysteem afgedwongen. De meest recente maatregel dateert van mei 2014, waarbij het per direct het gebruik van imidacloprid werd verboden in glasteelten als er geen waterzuivering aanwezig is. Op 27 april 2018 is een verder toepassingsverbod aangekondigd voor imidacloprid, clothianidin en thiamethoxam.

On ecotoxicological standards: the choreography of chemicals in nature

Inaugural lecture by

Prof.dr. Martina G. Vijver

on the acceptance of her position as professor of

Ecotoxicology

at the Universiteit Leiden

on Friday November 16, 2018.



**Universiteit
Leiden**
The Netherlands

Mr. Rector Magnificus, most esteemed members of the audience,

1. Chemicals in nature

I grew up in a village surrounded by meadows, all neatly bordered by ditches. A ten-minute bike ride from my home today the same typically Dutch landscape is still to be found. In this country there's a vast network of ditches with a total length of around 300,000 km. I guess every one of us has at some time or other thrown a twig into a ditch or stream to see where it's carried. As an ecotoxicologist I now also spend a lot of time along ditches, and what I now wonder is what happens when chemicals find their way into the water or, more broadly, nature. *Where* do they go, *how many* are there and do they pose a *threat* to the ecosystem?

The substances we humans synthesise and extract are used in myriad ways: in industry, in agriculture, in our homes. We introduce these substances into the system, but that only goes well if they stay exactly where we intend, in just the right quantity, within what we might call system boundaries – a term I freely adapt from the work of Herman Daly. Unintentionally, the substances end up in nature at large, though, where their concentration may become so high as to exceed environmental quality standards, posing a hazard to the plants and animals out there – at which point they become “problematic substances”. We know from data reported in our online Pesticides Atlas that water quality standards are exceeded at up to 50% of monitoring sites in the Netherlands (*2016 data). This is undesirable, but how significant is it – does it count as pollution? Anthropologist Mary Douglas has thought about this. In her 1966 book *Purity and Danger* she identifies concerns about purity as a key theme at the heart of every society. Her book has been highly influential in shaping thought from religious studies and social theory through to environmental science. Her key insight was to equate “pollution” with “matter out of place”, that is, *in the wrong place*. From the perspective of ecotoxicology we're then talking mainly about substances that are problematic in light of their

poor degradability, high toxicity or tendency to accumulate, as well as about just *too many* substances.

It's important to realise that in our industrialised world there are an incredible number of substances that can potentially lead to pollution, to “matter out of place”. Since 1950 we've synthesised over 140,000 chemicals, including pesticides, the vast majority of which are still in production today. To give you an idea of the scale: to build a car and keep it up and running for its allotted life span requires over 10,000 different compounds. If we're serious about assessing *risks* to the ecosystem, we need to know something about *all* of them. To collect data and build up a body of knowledge on these issues, two methods are conventionally used: field monitoring and laboratory trials.

The first of these methods entails field study, or monitoring. This means going to a particular site to take samples: one litre of water from a ditch, say. This is then sent to a lab for analysis, where it's established what compounds the sample contains. Alternatively, someone can go to the same ditch with a net to find out what animals are found there and then draw conclusions about the biological assemblage. Data gathered in this way tells us something about the chemical or biological quality of the real world. If the monitoring is carried out at repeated intervals, statistics can be used to build up a spatiotemporal picture of the state of the ecosystem. Gathering data in this way is by definition a retrospective approach, as the substances must already be present in nature for us to measure them. The risks posed by the chemicals in question can be determined on the basis of their concentration and the state of biodiversity at the site. While the basic concept is straightforward, though, we now know that interactions among the vast number of chemicals present in nature are very dynamic. And this is on top of the huge number of potential interactions with the myriad species of plants and animals to which nature is home.

The second standard method is laboratory testing. These lab tests – in tandem with predictive models – can provide insight into what kinds of impacts are to be expected in nature. In this case, then, we have a prospective approach, which is characterised by its being fast – a so-called high-throughput approach – allowing large numbers of chemicals to be tested for potentially hazardous effects as quickly as possible. For these tests we often use cell lines or rapidly growing and reproducing organisms. The compound being tested is added in varying concentrations, with a concentration a thousand times higher than in the field by no means uncommon. The focus is on toxicological endpoints that are easy to score. These are often short-term studies for which it's generally easier to find funding. Despite these tests involving only a handful of laboratory species and there being considerable theoretical shortcomings when it comes to estimating ecosystem impacts, this type of lab testing has proved to be quite effective.

The focus of my own studies is on making realistic predictions about *how* substances can potentially affect our natural environment and the organisms to which it is home. So the key question I'm addressing in my work is this: are man-made substances posing a long-term threat to the ecosystem? To this end I adopt a three-step approach. I study the behaviour of substances in the environment, then assess whether they can be taken up by living organisms and, finally, what effects this has on individual species as well as on the biological communities as a whole. In my view this kind of research is crucially important. After all, the potential damage to the ecosystem that pollution can cause may, over time, cascade into major deleterious impacts on the planet as a whole. This means employing systems thinking, which is indeed essential if we're to come up with policies that effectively predict ecosystem threats and help reduce them.

This notorious challenge I'm happy to take on, guided by the notion of “matter out of place” proposed by Mary Douglas. In doing so, I see the movement of substances through the

environment as a dance, as a choreography. In this address I shall be exploring two storylines: first the choreography of crop protection agents, then that of nanomaterials – microscopically small particles 1-100 nanometres in size. To give you an idea: soap bubbles have a wall thickness of about 750 nanometres. Together, these storylines illustrate the issues of interest in the discipline I work in and point to some of the traps and challenges encountered.

2. The dance of the agrochemicals

Let's step into the industrialised world so I can introduce you to the first choreography – that of agrochemicals in the Netherlands. Two-thirds of our country's surface area is devoted to agriculture and horticulture, and for good reason, as we're among the world's top five exporters when it comes to cut flowers, flower bulbs and horticultural produce, to name just a few examples. To achieve this we make very intensive use of the soil and output per hectare is among the highest in the world. In our Westland greenhouses around 50 kilos of tomatoes are grown per square metre and around 65 kilos of cucumbers. In the highly productive Almeria region of Spain the respective figures are about 9.6 and 9.1 kilos (Valera *et al.* 2016). To achieve these yields requires a huge arsenal of fertilisers, pesticides and other agrochemicals. Unsurprisingly, considerable efforts are therefore made by government, agriculture, the food industry, environmental NGOs and researchers to monitor environmental quality, the key question being: do the agrochemicals used to grow all these crops pose an insurmountable long-term risk to the environment and ecosystem?

As a case study I'm working on neonicotinoids, a class of compounds that are among the world's most widely used insecticides. They're the latest replacement of the organophosphates of yesteryear, with a specific mode of action and relatively swift biodegradability compared with those earlier compounds. Imidacloprid and thiacloprid are the two best known neonicotinoids. Their main mode of action is to block the transmission of nerve impulses, paralysing the

insects, stopping them feeding and eventually leading to death by starvation, desiccation or predation by other animals. One important use of these chemicals is pre-treatment of sowing seed, giving it a neonicotinoid coating. As the plant grows, sap flow transports the insecticide from the seed through the entire plant, including its pollen and nectar. Thanks to their systemic action, neonicotinoids are an effective means of controlling insect damage. One advantage of this form of pest control is that the crop no longer needs to be sprayed, thus avoiding undesirable drift to adjacent surface waters and other habitats.

Neonicotinoids are not only used as a seed coating, but are also sprayed in greenhouses and orchards, as well as by private gardeners, to control ants and other insects. Before these chemicals were approved they underwent extensive testing to determine their physicochemical properties and degradability and their toxicity was assessed in the lab using a number of standard species. Studies by the U.S. Environmental Protection Agency have shown that many insect and invertebrates species respond to neonicotinoids, but with major interspecies differences in sensitivity. It has also been established that other species may potentially be impacted. Amphibians and fishes appear to be insensitive to imidacloprid. Water fleas – small crustaceans used as the standard organism in many toxicity tests – exhibit average sensitivity.

In 2013 Van Dijk and co-authors reported, on the basis of field observations in the Netherlands, a negative correlation between surface-water concentrations of imidacloprid and populations of various classes of aquatic invertebrate. Although we (Vijver & Van den Brink 2014) have some issues with how the study was conducted, we too conclude, following other lines of evidence, that current Dutch imidacloprid levels are most definitely impacting aquatic organisms. A report by the European Academies of Science (EASAC, 2015) then showed that honeybees (as well as multiple species of wild bees, bumble-bees, butterflies and hoverflies) are extremely sensitive to very low doses of neonicotinoids. The decline of

fifteen bird species in rural areas also correlates with surface-water imidacloprid levels (Hallmann *et al.* 2014), as does the sharp decline in insect numbers (Hallmann *et al.* 2018). Aquatic organisms were also found to be impacted more than anticipated by neonicotinoid-coated seeds (Vijver *et al.* 2017).

Are we thus engaged in a modern Sisyphus task? Are these new neonicotinoids creating just as serious, or perhaps even greater, ecological problems than earlier generations of insecticides like organophosphates? The chemical monitoring of Dutch surface waters carried out by water authorities has shown that despite numerous policy measures* the permitted surface-water concentration of imidacloprid was exceeded far too often in certain crops. The imidacloprid study I conducted in 2016 with my colleagues Wil Tamis and Maarten van 't Zelfde showed that the measures implemented in horticultural greenhouses, where most exceedances occur, were not having the desired impact up to 2015 and early 2016 (Tamis *et al.* 2016). Standards were being regularly exceeded, up to twenty times the permitted limit. During the same period my PhD student Sasha Ieromina was studying aquatic communities and chemical water quality in the flow-bulb-growing area around Lisse. Using these field data, Kees Musters used statistical methods to show that in de watercourses in this area the biotic communities are controlled from the bottom up. Nutrient availability was the major factor determining the species present, with predators playing very little role. Insects are important because of their numbers, and if they disappear this has a cascading effect on higher trophic levels. If molluscs and crustaceans disappear as a result of chemical pollution, this will have even more impact on the assemblage of species and their interactions (Musters *et al.*, submitted). Biotic interactions become increasingly important as the season progresses. Species numbers and densities in ditches are consequently a crucial element in explaining how a system responds to chemical pollution. What this has taught us is that pollutants need to be studied as a “syndrome”, not divorced from their context of biotic and abiotic interactions.

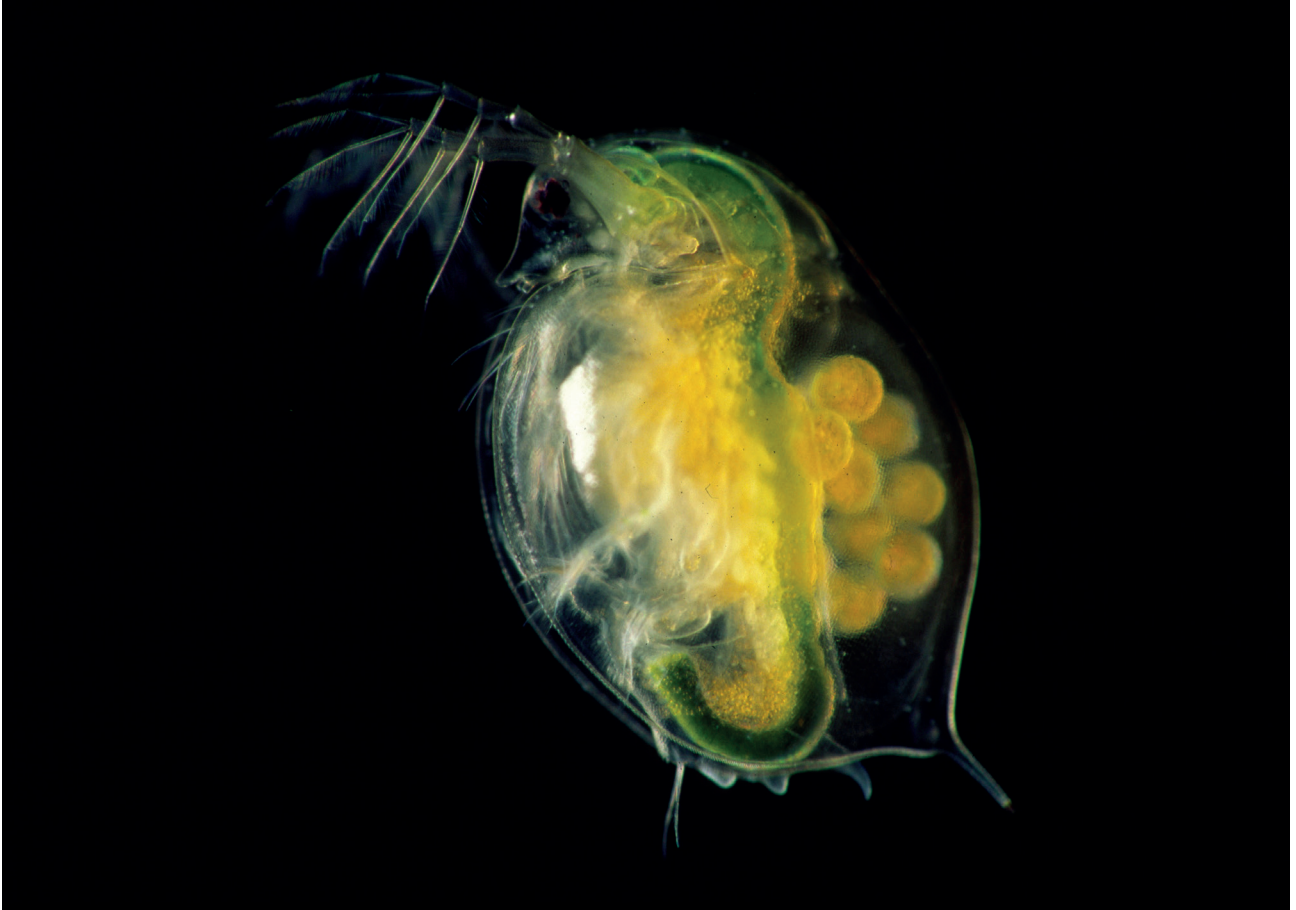


Foto: ecotox.science.leidenuniv.nl

3. On the limits of laboratory and field testing

The moral of this story – this dance – is that lab results underestimate pollution impacts for a great many organisms found in the ecosystems bordering on farmland and greenhouses. RIVM colleagues De Zwart and Posthuma have shown that only 1 in 10 “problems” are registered in the laboratory, even though lab analyses are our key means of proactively addressing adverse impacts. What we need is a scientifically sound means of translating from lab to field ... but how does one go about it? With that in mind, we put on our broad-vision goggles and decided to take ecosystem complexity as a whole as our field of study. This new integration of knowledge requires a new testing method that we created in our Living Lab, where we’re experimenting under semi-realistic field conditions. The idea of “mesocosm studies” goes back to the 1990s (with OECD guidelines dating from 2004). Mesocosms are small artificial ecosystems that can provide data on overall system functioning. As in the lab, this kind of set-up can be manipulated and test protocols developed. Its strength lies in it having the replicability of the lab, but involving outside facilities maintained under natural conditions.

The Living Lab was created with the aid of crowdfunding. The intensive PR period along with the demanding physical work required a lot of effort, but because so many people helped with the project, to my mind this is also one of the highest-energy facilities at Leiden University, a place we welcome numerous groups of interested visitors, from schoolchildren to scientists from across the world. The 38 ditches were dug out to a depth of 1.5 metres, taking us down to the Roman era, so the ditches have a clean, unpolluted bed. They branch out from a water-compensation lake, which is in turn connected to a branch of the river de Oude Rijn, which allows animals and plants to colonise our ditches from natural surroundings. The realistic conditions we’ve created here have considerable added value compared with laboratory testing. There’s rain and wind, variations in sunshine, a natural diurnal rhythm. But above

all: the research we do in these ditches is ecologically relevant. First, because we’re not just looking at a single test species of animal or plant, but at complete communities as are to be found in adjacent nature. The organisms come straight out of the surrounding water courses via the lake and the ditches are bounded by natural banks. Second, our experiments go on for an extended period, of key importance because human influence is often only apparent over the longer term, while lab tests are generally very short-term. Our experiments are monitored all year round.

The results obtained with our mesocosm experiments show that when two different agrochemicals are added to the system – a binary mixture – the toxicity is predicted well by our lab-based knowledge. When more than two compounds are added simultaneously, though, the toxicity can no longer be forecast from lab results (Barmentlo *et al.* 2018). When we shifted our research focus to chemicals in combination with food availability, the results we found were shocking. PhD student Henrik Barmentlo saw that caged water fleas put out in ditches to which thiacloprid had been added were an incredible 2500 times more sensitive under field conditions than in the lab (Barmentlo *et al.* 2018). The differences can be explained largely by the quality and quantity of the food species available to the water fleas – in this case algae. Under lab conditions the fleas have a surplus of food, but as we discovered this leads to ecological risks being vastly underestimated. And this was not a one-off result, as tests with damselflies revealed a similar discrepancy when stressed under conditions of natural food availability compared with excess food in the lab.

We also investigated the more complex inter-species interactions. Here we discovered similar, unexpected effects. We found, for example, that adding thiacloprid at environmentally relevant levels led to a shift in community composition. There was a direct impact on food chains, with inter-species relationships being disturbed. What was particularly evident was the almost complete absence of

predators in ditches treated with thiacloprid. In this case the pesticide did not have a direct impact on predators, but acted indirectly, by removing their food source – the herbivores, which had too little food and starved (2017 data). Under eutrophic conditions (high, optimal nutrient levels) the ecosystem responds differently to the neonicotinoid, reducing its impact.

So what does this all mean? Why is it important? What it tells us is that testing under lab conditions is a simplification that cannot always provide a good prediction of natural conditions (Jeromina's dissertation, Barmantlo 2017). And that's important, because it exposes a fundamental problem with current toxicity testing protocols. We use these protocols with the aim of protecting our environment. But in doing so ecosystem impacts are generally estimated as if the ecosystem were merely the sum total of a handful of test species exposed to a single compound in pure form under invariant lab conditions. Time and time again, though, we've demonstrated this just doesn't add up – what we have here is an enormous gap in our knowledge. Thankfully, however, there's a growing realisation we need to test more than just individual species and factor abiotic fluctuations into the equation.

With help from numerous students, colleague Maarten Schrama and Henrik Barmantlo we repeated the experiments in 2018 using only thiacloprid – so without nutrients – but now with the scope expanded to include the water, ditch bottom and ditch bank, too. In the months of preparation we counted over 60,000 individuals belonging to at least 140 species. Thiacloprid was then added to the ditch in three different concentrations and the organisms were subsequently monitored for several months. The functioning of the microbial community was found to change very little, if at all. However, the thiacloprid proved to have a very significant impact on the number of organisms per metre of ditch – dropping from an average of around 800 individuals to 480. One thing that was plainly visible after two months was the

enormous quantity of algae that had developed, even though this was essentially a nutrient-poor ecosystem. What was driving this algal bloom – a phenomenon normally associated with eutrophication – was the fact that the herbivores had disappeared. As with the 2017 experiments, then, there was a complete shift in species composition within the biotic community.

The impact of the thiacloprid was also apparent in the midge species assemblage. Midge larvae live on the ditch bottom. As they develop into adults they undergo metamorphosis, flying out from their aquatic habitat. By hanging up nets we caught the midges on their first flight and transferred them immediately to alcohol so we could count the various species. What the results showed was that the number of midges flying out remained constant regardless of the ditch-water thiacloprid concentration. In ditches to which the compound had been added the date of emergence was somewhat delayed, however, and species composition also changed. You may say: great, it takes longer for the midges to fly out, which means less bother for us humans. But once they've left the water, midges are a major food source for birds, bats, spiders, you name it: in short, for all sorts of species of ditch banks and adjacent habitats. Our surveys of wolf spiders on the banks of the Living Lab ditches showed the adults had great difficulty finding enough food along ditches to which thiacloprid had been added. The impact of this neonicotinoid goes beyond simply affecting the chemistry and ecology of the water, then, all too evidently resonating across the boundaries of the aquatic system into the biotic communities of land and air. This tells us these so-called cross-ecosystem effects need to be explicitly investigated, not only because chemical compounds cross system boundaries, but also because ecological impacts echo into other, connected ecosystems.

4. The dance of the nanomaterials

My second storyline concerns synthetic nanomaterials, microscopic particles that are today used in a growing number

of applications and are claimed to make products more sustainable. The tiny size of these particles gives them unique properties compared with larger particles. Say you want to fill the scratches on your car's paintwork; then you're better off doing the job with microscopically small particles rather than larger ones of the same material. The surface-to-volume ratio of small particles is many times greater and because there are relatively more atoms on the surface the smaller particles are also highly reactive. One nice example demonstrating how the properties of nanomaterials have already been in use for a very long time are the stained-glass windows found in countless churches and cathedrals, dating back to the 4th to 16th century. The magnificent colours seen when the sun shines through these windows are due to metallic nanoparticles contained in the glass. Another example is dichroic glass, which can take on one of two different colours depending on whether the light's reflected or transmitted, with the effect in this case due to gold and/or silver nanoparticles. Pure nano-art!

The idea of manipulating individual atoms was first suggested in a famous lecture given by Richard Feynman in 1959 at the annual meeting of the American Physical Society in California entitled "There's plenty of room at the bottom". Feynman was a theoretical physicist acclaimed for his eponymous diagrams and his contribution to quantum electrodynamics, for which he was awarded a Nobel Prize. Despite the fact that this is now recognized as an important lecture in the field of nanotechnology, it went unnoticed for many years and many question whether Feynman indeed really heralds the conceptual beginnings of nanotechnology, as he didn't tie in his ideas with developments in microscopy techniques in the period after the lecture. Eric Drexler was inspired by Feynman, however, and in 1986 he took Feynman's notion of "*a billion tiny factories*" and the idea they could make more copies of themselves and wrote the book *Engines of Creation: The Coming Era of Nanotechnology*. In 2016 such self-assembling mini-machines were indeed created by Professor Ben Feringa, a colleague from Groningen, for which he was honoured with a Nobel Prize.

Virtually any material can now be made at the nano-scale and such materials are today part and parcel of everyday technologies. One concrete example of a widely used product incorporating this kind of nanotechnology are airbags. Other commercial applications include enhanced computer screens, micro-electromechanical systems and a range of light-weight materials. Surprisingly enough they're also to be found in products like sunscreen and coffee creamer, as well as in all kinds of foodstuffs and pharmaceuticals. In 2016 the European Commission estimated the global nanomaterials market at tens of millions of tonnes a year. Annual growth of this market is projected to be exponential at around 22% per annum. Nanotechnology is seen as one of the key technologies generating prosperity and innovation, a new driver of economic growth.

But as we know from the past industrial era, in which myriad new chemicals were synthesised, anything new can have hidden drawbacks and dangers. Although growing concerns have led to many studies on nanotoxicology, the mechanisms underlying the toxicity of this new class of materials are still unclear. So once again we face the crucial question: do synthetic nanomaterials pose an insurmountable long-term risk to the environment?

Consider the example of sports socks, a product in which silver nanoparticles are now being incorporated to banish sweaty odours. Every time these socks are washed, nanoparticles of silver are flushed down the drain with the rinse water. This is a good example of dissipative dispersal: something that can scarcely be avoided without simply prohibiting the use of nano-silver in socks. The rinse water ends up in a water treatment plant and subsequently in surface waters, where it's subject to various processes. The particles will initially remain in suspension, not dissolving as in the case of chemicals made up of molecules. They will therefore either remain suspended or clump together and sink to the bottom. A metal-containing nanoparticle will release ions that dissolve in the water, moreover.

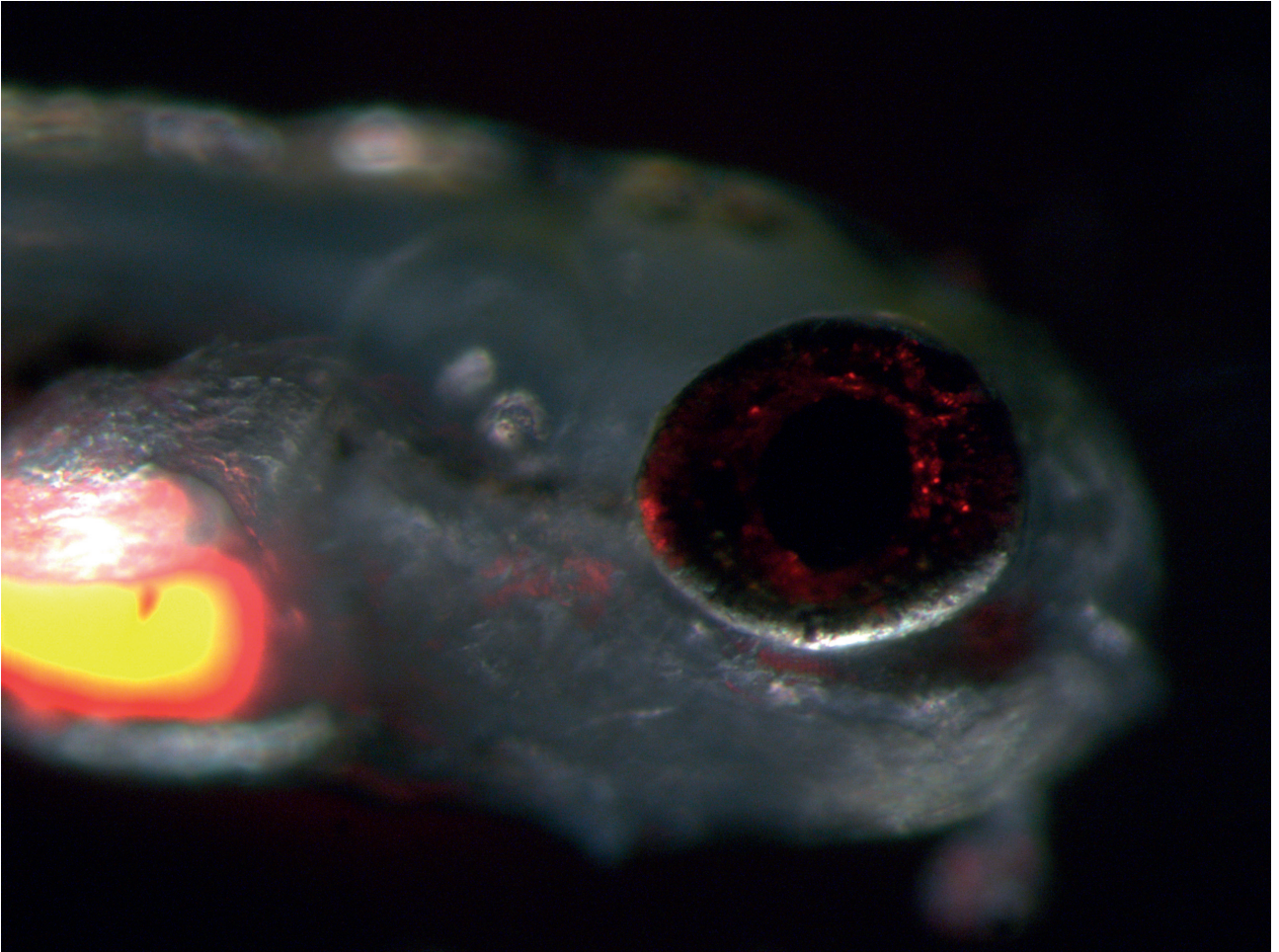


Foto: Van Pomeran

The work carried out by PhD student Yinlong Xiao and post docs Daniel Arena-Lago and Fazel Monikh clearly shows that exposure conditions are of major influence on the behaviour and fate of nanomaterials. Their results show that the presence of cations and dissolved organic matter (DOM) in the water goes a long way to explaining the aggregation of copper particles. If there's organic matter in the water – and this is the case with *any* natural body of water – the particles will exhibit more stable behaviour. Experiments investigating the influence of acidity showed that if the water has a low pH the particles release more ions. This dependence on hydrochemistry means the nanoparticles are subject to constant change, resulting in enormous fluctuations in exposure for all the elements of the ecosystem, where multiple species of plants and animals co-exist, both in the water column and in the bottom sediment where the heavier, clumped nanoparticles end up. Despite this knowledge, though, scientists and risk assessors are making little effort to integrate the physicochemical dynamics of nanoparticles into impact mechanisms so that ecosystem risks can be properly assessed.

Metal-containing nanoparticles are a key class of nanomaterials and one of the first amenable to scientific testing (first-generation nanoparticles, Savolainen *et al.* 2013). It's already clear that metal-containing nanoparticles consist of a mixture of particles and ions. To understand how important particles are for toxicity and to what extent impacts are attributable to ion release, as one of the few research groups in the world we're testing and modelling the relative importance of particles and released ions in accumulation and impacts. We've done this for the water flea *Daphne magna* (PhD student Yinlong), for cell lines (PhD student Lan Song) and for zebra-fish larvae (PhD student Jing Hua). From all these results it's emerged that for many organisms the toxicity of copper-containing nanoparticles can be ascribed for 60-70% to particles and for 30-40% to ions. For zinc-containing particles we found a similar ratio (Hua *et al.* 2014, Zhai *et al.* 2017). For lead-containing particles, in contrast, we found

the contribution of particles was only 20% (Zhai *et al.* 2017), which can probably be explained by the structure of the so-called perovskites, which are quick to decay and dissolve. By understanding the particles' contribution we can develop models that predict the risks they pose based on colloidal properties, estimating chemical composition on the basis of chemical properties.

The next question is whether the nanoparticles also have a tendency to adsorb to organisms – stick to their tissues, in other words. This is obviously relevant, as the skin, gills and digestive tract of aquatic organisms are constantly exposed to nanomaterials. To understand this issue, as part of her doctoral research Marinda van Pomeran did tests with zebra-fish larvae, which we exposed to suspended nanoparticles. In five-day-old larvae we saw the intestinal walls were covered with nanoparticles. By experimenting with particles of different sizes we were able to conclude that particles larger than 50 nanometres stuck to the intestinal walls, while smaller particles passed through the intestinal tract. These then shot into the blood flow and we found them throughout the body, in fatty organs and tissues and even in the eyes (Van Pomeran *et al.* 2017). In research carried out by post doc Nadja Brun, pregnant water fleas were exposed to nanoparticles coloured with a luminescent dye, allowing us to follow the particles as they moved through the body. What we observed was that once more the particles were adsorbed on the intestinal wall. To our great surprise we also saw that the unborn water fleas were covered in nanoparticles (Brun *et al.* 2018). From another study (Cui *et al.* 2017) it could be concluded that when a pregnant female is exposed to nanomaterials, the offspring get off to a difficult start in life.

But does it in fact matter if these materials are taken up by organisms? That's obviously a key question, and it's an issue I'm working on but which is proving hard to answer. Current ecotoxicological lab tests employ fairly high doses, and to date we've found virtually no *acute* effects in organisms that

are exposed *briefly* to nanoparticles. More subtle shifts in microbial communities have been found by PhD student Yujia Zhai, though, in terms of their composition and functioning. As yet, the impact of long-term exposure to low doses remains very unclear. One major puzzle we want to clear up in work we're doing as part of an international consortium is to further translate the subtle responses exhibited by organisms to apical toxicity endpoints at the species, population and community level using mechanistic methods (including Adverse Outcome Pathways)

The impact of nanomaterials on biotic interactions is an issue we've only just started unravelling and it's an area of research where we're leading the way. As part of his doctoral research Tom Nederstigt is investigating the impact of nanoparticles on multi-generation endpoints and shifts in biotic interactions. PhD student Bregje Brinkmann, too, is looking into biotic shifts, examining the impact of nanomaterials on the microbiome of the zebrafish and how that affects the vitality of the host. With PhD students Juan Wang and Qi Yu we're looking at whether nanomaterials also move through food chains, examining plant-herbivore and predator-prey interactions. With this broad range of studies we feel we're now in a position to pronounce on the impact of nanoparticles on individual species as well as on aquatic communities as a whole. Multi-stress impacts and situations in which organisms are not quite in their optimal environmental conditions I'm studying with my colleague Thijs Bosker. The first experimental step "en route" to working under semi-field conditions has thus been taken. So as a group we've clearly launched ourselves into an important gap in knowledge, seeking to work out the long-term impact of nanomaterials under natural conditions.

5. Predicting future impacts

Precisely with emerging technologies using new synthetic chemicals and other materials, where emissions are still negligible, it's vitally important to get to grips with potential

adverse impacts before widespread environmental dispersion of the materials occurs. In the case of nanotechnology it's often entirely new substances and products that are being developed, with sustainability claims often prominently touted in the development phase. But are these new technologies indeed more sustainable in actual practice? This is one of the overarching questions being addressed by my colleagues in the Industrial Ecology department.

By incorporating nanoparticles in materials used for solar panels, sunlight capture can be boosted by ten percentage points, a huge gain. But are such panels, which are still only on the drawing board, really more sustainable than those on today's roofs? This remains to be seen, one reason being that nanoparticles have to be produced in ultra-clean, controlled conditions, which requires a lot of energy. And what happens to the nanoparticles when the panels are replaced after sixteen years or so, not to mention particle release over that period? On the one hand these new solar panels are held to be more sustainable, but in the overall life cycle there are links that are far less sustainable than in the case of today's panels. In this context PhD students Carlos Blanco Rocha and Georgios Pallas are doing a Life Cycle Assessment study on ongoing developments in the solar panel industry. With this LCA method the impact of the entire product life cycle is charted, to assess whether there are indeed environmental benefits in the longer term.

These are future scenarios that must be predicted on the basis of scant knowledge and data, which means there are major inherent uncertainties. Here we're up against the Collingridge Dilemma (Collingridge 1980). These uncertainties about the future are reduced once the technology reaches maturity – but that's in hindsight. Looking back, we can perhaps say it would have been better to take a different course when we were developing plastics or crop protection agents, for instance, but by the time a product or technology's out on the market there will have been major investments and possibly thousands

of jobs created in the sector concerned. After a certain point it becomes increasingly hard to phase out manufacture and use of the product or technology – even if it's not that great for the ecosystem. As humans, only rarely do we foresee the consequences of our actions. What we do want to do, though, is anticipate the potential risks posed by a new technology, whether it be nanoparticles or other emerging materials. This is the kind of “into-the-future” analysis we're doing, by applying a combination of risk assessment and LCA to the entire supply chain. When thinking about new products it's essential to have these two frameworks in the back of your mind, as this creates ways of guiding and assessing the “green” and “clean” claims of new technologies. Funding agencies would do well, when awarding major R&D subsidies, to earmark a modest sum for environmental safety studies. And universities with knowledge and sustainability in their portfolio can also play their part, by encouraging researchers to reflect on considerations of ecological safety when working up their latest discovery or invention.

6. The event continuum

This takes me back to the early 1960s, when Rachel Carson was already sounding the alarm, showing that contemporary use of pesticides – or as she preferred to call them: biocides – were having a far greater impact on the natural world than was initially thought. With the knowledge she shared with the world in her book *Silent Spring* she was ultimately responsible for getting certain stipulations included in major U.S. policy documents on air quality (the Clean Air Act 1963), nature conservation (the Wilderness Act 1964, the Endangered Species Act 1972) and the broader environment (the Environmental Policy Act 1969). Her work resonated beyond America, prompting all kinds of work by the Centre for Ecology and Hydrology in the UK as well as RIVM here in the Netherlands, with the upshot that today the environment is protected as well as can be protected reasonably well by a plethora of policies and legislation. Rachel Carson was not only instrumental in creating awareness of the dark side of progress but also

presented us with two perspectives: the chemical road and “the other road”. Let's get started on that other road, which means working together with nature, manipulating a little here and there, but not appropriating nature in its entirety, which is the road to destruction. This implies discontinuing use of many of the substances we've created, which means opting for the sustainable, ecological road so much discussed today and already advocated by Carson back in 1962. Is this then the event continuum?

But let me go back to the chemical road, the one that's been taken by the industrialised nations and the one with which much of my work is concerned. Generalising, one can say that U.S. policy thinking on chemicals and materials proceeds mainly from the premise of giving free rein to innovation and opportunity, with it only subsequently having to be shown whether something is hazardous: “innocent until proven guilty”, in other words. In European thinking we operate on the precautionary principle – “guilty until proven innocent” – rolling out emission-abatement schemes as preventative means of reducing risks. So, with our research, what advice can we give policy-makers – though in the full realisation that I'm not a policy-maker myself? The challenge of a) *problematic substances* and b) *the excessive number of substances* goes hand in hand with the risk assessment of emergent substances on which we have little data or knowledge. The EU's REACH regulation contains lists of such problematic substances. But even though all kinds of substances are listed, we're still lacking toxicity data on many of them – or the data aren't representative for real-world impacts, for all kinds of reasons – as my two choreographic storylines have shown.

So does this mean all problematic substances need to be tested at the mesocosm scale we've developed in our Living Lab? And will this intensive methodology indeed allow us to characterise the risks posed by many thousands of substances? The basic answer is *yes*, we need to, because only then will we have solid real-world data at our disposal, but at the same time



Foto: Barmentlo

this is simply unfeasible for *all* substances. How, then, should we keep our finger on the pulse when it comes to granting approval for the marketing of new substances? In the doctoral research being carried out by Pim Wassenaar in partnership with RIVM we'll be using similarity modelling and read-across extrapolation to come up with estimates of the environmental behaviour, toxicity and fate of substances. Based on this modelling we can then be more accurate about which ones should be prioritized when it comes to testing. If we're to further quantify cross-ecosystem impacts and the dynamic behaviour of substances it's absolutely essential we work with ecological modellers, hydrological and geological modellers, biostatisticians and artificial intelligence researchers.

I would also argue that in addition to the laboratory testing required for approval, post-registration monitoring is a must for keeping track of risks in the real world. Monitoring is something that's done from a multitude of different angles. It's not just field biologists and scientists who are seeing species disappear. Water boards and regional government agencies have also established monitoring programmes within policy frameworks like the European Framework Directive on Water and the Soil Directive – with the aim of assessing general environmental quality. With due effort by all parties the currently fragmented databases could be systematically combined and centralised, providing a vast trove of post-registration monitoring data. The fact that these databases aren't interlinked and the lack of a legal framework is holding back intelligent use of field observations in the registration and environmental-quality frameworks (Vijver *et al.* 2017). This is truly a missed opportunity in today's era of huge advances in the fields of databases, big data and statistics.

How monitoring should be designed is something that's being widely debated at the moment. At present, monitoring often boils down to no more than a single snapshot in time and space, generally focused on specific groups of chemicals or a handful of key ecological species, moreover. Debates

on new approaches are therefore concerned with how to achieve time-integrated monitoring and how to design measurements that provide insight into the impact of the multiple substance-species interactions we're faced with today. Effect-based biomonitoring may be of additional help here. Such monitoring can be fleshed out in a variety of ways: *in situ* assays (using cages in ditches, say), but also newer methods based on environmental DNA, for example, which my colleague Krijn Trimbos is working on, or using optical methods to monitor water-quality parameters, a topic being studied by my PhD student Olivier Burggraaf. We refine this way our knowledge of “the chemical road” not necessarily addressing knowledge needed for “the other road”.

7. The wider picture

A key question for scientists is when one should consciously enter into the public debate and when one should refrain. I myself feel science should go hand in hand with social engagement. Explaining scientific discoveries to the general public and to schoolchildren is terrific fun. That's also why I took part in the *Universiteit van Nederland* (2017) and why I'll be giving public lectures the coming year. Another example is our successful collaboration with educators on developing a teaching programme in which 800 elementary-school children participate annually. They'll be visiting the Living Lab and learning about the biodiversity of farmland ditches. Over the past year our magnificent outdoor lab has been visited dozens of times on days out organised by companies and other organisations. All these activities mean our Living Lab is bang smack in the middle of society.

Our Pesticides Atlas website is another prime example of open communication with the world at large. We frequently engage in interesting and exhilarating discussions with all kinds of players, including greenhouse horticulturalists and people from water boards and conservation groups. While most of the debates are positive and interesting, discussions sometimes get wrought and emotional. That's unavoidable and in today's

world of Twitter and other social media something we simply have to get to grips with. What we should never forget, though, is that science is morally neutral. Openness, reproducibility and transparency are core values at Leiden University and we respect them in all the work we do. What my experience with the dance of the agrochemicals has taught me is that we must make a conscious choice to first have solid facts at our fingertips and until such time be hesitant about participating in public debates. In the world of ecotoxicology there are players with major interests. While some are concerned about the serious impact of *pesticides* on biodiversity, for example, others emphasise the usefulness of *crop protection agents* in intensive farming from the perspective of food security. Communicating with people from different lines of work is enormously interesting and inspiring. Care therefore needs to be taken when it comes to one's vocabulary and how one communicates, ensuring pronouncements are consistently rooted in facts derived from independent research carried out according to strictly scientific standards.

These are indeed the academic skills that we as teaching staff bring across to our students at all levels. I've been teaching and supervising PhD students for ten years now. Besides passing on standard academic skills, I'm also keen to inspire them with my enthusiasm for science. In our society a distinction is made between work and leisure, with a paid job being seen as a way to earn enough money to do something entirely different in your spare time, "for fun". But as the British philosopher Alan Watts said long ago, the distinction between work and pleasure is purely a cultural phenomenon, designed to keep the cogs of the economy running smoothly. In our capitalist society work is seen as something that should not be taken too lightly. Now I grant you that this sense of responsibility, of duty, is not necessarily a bad thing. But by saying there's work and there's pleasure you're creating an artificial opposition, and for the younger generation I hope it's one that's soon a thing of the past and that those I train are suitably infected with my enthusiasm for research.

Which brings me to a special message for half the student population – specifically the female half. Because although over half those graduating are female, on each successive rung of the scientific career ladder the percentage of women falls dramatically. Only 18 percent of professors are women and that figure is rising only slowly (diversity survey 2018). Projections indicate that it won't be until 2054 that male and female professors are equally represented in the Netherlands. For Miranda van Eck and me this was one of the main motives to set up the women's network RISE in 2016. A huge number of studies have shown that a proper balance between men and women encourages creativity and innovation (NWO Gender Equality Plan, 2018). Due attention to gender-neutral language is therefore to be recommended, as is gender diversity in the institute's management. Sought or unsought, but always appreciated, we advise the faculty on policy in this area. Our great biannual report providing accountability for our work shows we already have 70 members, for whom we organise workshops to bolster their professional skills. Even more important is that we offer a network where scientists can seek one another out and build an atmosphere that ensures we meet up, collaborate and support one another. So remember, girls: science encourages you to think and reflect, to hone your word skills – and is simply great fun!

8. Refrain

Returning to my main theme of ecotoxicology, we can only conclude there's a lot of "matter out of place" and that it's by no means straightforward to assess *where* all the chemicals and other synthetic materials end up, *how many* of them there are, and what *risk* they pose to the ecosystem. Prior to the 1960s we were merely observers of the dance, with nature the choreographer. We stood enthralled by the mysteries around us and were shocked when our actions had an impact. Today, we see ourselves as the choreographer, with the world deemed under our control. We synthesise myriad chemicals, convinced we're in charge of the tempo and direction of the dance. But the dance we're putting on is geared solely to the performance

itself, towards securing a single specific target. To my mind we're forgetting three things. First, that we're not the only ones involved, but that we need to collaborate with a choreographer called "nature" that is orders of magnitude greater than ourselves. Second, that a good choreographer should make conscious choices about the story she wants to tell – which means giving explicitly thought to the number of actors (chemicals) on the stage, what dance steps they're to make (the environmental behaviour), at what point the climax takes place (the target) and what segments of the audience need catering to most (the environmental compartments). And third: what we're going to do when the curtain falls – when the target's been reached – but we discover the performance has not yet ended, potentially with major consequences.

9. Acknowledgements

As I come to the end of my speech, let me say a few words of thanks. In the first place I thank the Rector and the Executive Board of Leiden University for creating the Chair. The Faculty Board, and in particular Geert de Snoo, I thank for the trust they've placed in me. Thank you, too, for your enthusiasm in helping me get our Living Lab up and running. Also much gratitude and appreciation to the CML management team for giving me the freedom to develop myself and my group. My EB department I thank for all the inspiring discussions, and I certainly hope this collaboration with the group under the leadership of Peter van Bodegom continues in the future, too. The same holds for my collaboration with the IE department led by Arnold Tukker, for the field of ecotoxicology can only flourish when it transcends departmental boundaries. I obviously can't avoid thanking my scientific friend Willie Peijnenburg – we complement one another well. The people who raised me in science is want to thank for giving me a warm and safe place. Even though I've mentioned as many people as possible in the course of this speech, it's impossible to name all my colleagues and partners with whom I work, but *know* that you're all in my heart.

That I've been able to follow this passion of mine is partly down to my colleagues, my friends, my parents-in-law and my parents. Thank you all. Dad and mum, you've always come and had a look in the laboratories and field stations or wherever I was working. That does me good. Hugo and Tessa, I'm obviously enormously proud to see you messing about in the water, having fun swimming and boating. And even though I sometimes feel guilty because it's hard work having a job that takes up so many hours a week, and being a mother and wife as well, I also know we all get to do plenty of great things together precisely because of my job. I can only say I have the most amazing husband – you give me the space and freedom I need, Michiel. Thanks to your work and culinary skills we don't just satisfy our nutritional requirements, but enjoy really amazing food. Without you, this life of being a scientist with children would just not be feasible. Thank you.

I have spoken.

37



Foto: Philips

PROF.DR. MARTINA G. VIJVER

10. Footnotes

*Data assessed against the annual-average environmental quality standard AA-EQS from the Water Framework Directive and against the Maximum Permissible Risk (MPR) for substances for which this is not available. The main difference between these two standards is that the MPR is concerned only with direct impacts on aquatic organisms, while the AA-EQS also includes secondary poisoning of birds and mammals due to consumption of fish or crustaceans and human exposure via consumption of fish (products) or crustaceans.

*Between 2010 and 2014 many steps were taken around neonicotinoid approval, including a re-evaluation of imidacloprid in 2011 and 2013 by both Dutch and European authorities in connection with suspected impacts on bees and a tightening up of the approval criterion for the aquatic ecosystem under political pressure in 2014. The most recent policy action, in May 2014, was an immediate ban on the use of imidacloprid in horticultural greenhouses lacking effluent treatment. On 27 April 2018 a further ban was introduced on the use of imidacloprid, clothianidin en thiamethoxam.

11. Referenties / References

- Barmantlo S.H., E.M. Parmentier, G.R. de Snoo & M.G. Vijver (2018). Thiacloprid-Induced Toxicity Influenced by Nutrients: Evidence from In Situ Bioassays in Experimental Ditches, *Environmental Toxicology and Chemistry* 37:1907-1915.
- Barmantlo S.H., M. Schrama, E.R. Hunting, R. Heutink, P.M. van Bodegom, G.R. de Snoo & M.G. Vijver (2018). Assessing combined impacts of agrochemicals: Aquatic macroinvertebrate population responses in outdoor mesocosms, *Science of the Total Environment*: 631:341-347.
- Brun N.B., M.M.T. Beenakker, E.R. Hunting, D. Ebert & M.G. Vijver (2017). Brood pouch-mediated polystyrene nanoparticle uptake during *Daphnia magna* embryogenesis, *Nanotoxicology* 11(8): 1050-1069.
- Carson R. (1962). *Silent Spring*. Houghton Mifflin Company.
- Collingridge D. (1980). *The Social Control of Technology*, New York: St. Martin's Press; London: Pinter, ISBN 0-312-73168.
- Cui R., S.W. Kim, Y.-J. An (2017). Polystyrene nanoplastics inhibit reproduction and induce abnormal embryonic development in the freshwater crustacean *Daphnia galeata*, *Scientific Reports* (7) 12095.
- Douglas, M. (1966). *Purity and Danger: An Analysis of Concepts of Pollution and Taboo*. London and New York. ISBN: 0-7100-1299-3.
- Draft Guidance Document on Simulated Freshwater Lentic Field Tests (Outdoor Microcosms and Mesocosms) (July 2004). <http://www.oecd.org/fr/securitechimique/essais/32612239.pdf>
- Drexler, E. (1986). *Engines of Creation: The coming Era of Nanotechnology*. Anchor Library of Science, USA.
- EASAC (2015). *Ecosystem services, agriculture and neonicotinoids*. Halle, Germany ISBN: 978-3-8047-3437-1.
- Feynman R. (Dec. 29th 1959). There's plenty of room at the bottom. Annual American Physical Society meeting at Caltech.
- Hallmann, C.A., R.P. Foppen, C.A. van Turnhout, H. de Kroon & E. Jongejans (2014). Declines in insectivorous birds are associated with high neonicotinoid concentrations. *Nature* 511:341-343.
- Hallmann C.A., M. Sorg, E. Jongejans, H. Siepel *et al.* (2018). More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas. *Plos One* <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0185809>.
- Hua J., M.G. Vijver, M.K. Richardson, F. Ahmad & W.J. Peijnenburg (2014). Particle-specific toxic effects of differently shaped zinc oxide nanoparticles to zebrafish embryos (*Danio rerio*), *Environmental Toxicology and Chemistry* 33:2859-68.
- Musters K. et al. submitted Partitioning the impact of environmental drivers and species interactions in dynamic aquatic communities.
- NWO Gender Equality Plan (2018).
- Savolinen K., U. Backman, D. Brouwer, B. Fadeel, T. Fernandes, T. Kuhlbusch, R. Landsiedel, I. Lynch & L. Pylkkanen (2013). *Nanosafety in Europe 2015-2025: Towards safe and sustainable nanomaterials and nanotechnology innovations*.
- Tamis W, M. van't Zelfde, M.G. Vijver (2016). *Analyse van imidacloprod in het oppervlaktewater tot en met februari 2016*. ISBN: 978-90-5191-177-0.
- Universiteit Leiden (CML) and Rijkswaterstaat-WVL. www.bestrijdingsmiddelenatlas.nl
- Valera Martinez D.L., L.J. Belmonte Urena, F.D. Molina Aiz, A.L. Matinez. (2016) *Greenhouse agriculture in Almeria: a comprehensive techno-economic analysis*. Serie *Economia*.
- Van Dijk T., M.A. van Staalduinen & J.P. van der Sluijs (2013). Macro-Invertebrate Decline in Surface Water Polluted with Imidacloprid. *PLoS ONE* 8(5): e62374.
- Van Pomeran M., N.R. Brun, W.J.G.M. Peijnenburg & M.G. Vijver (2017). Exploring uptake and biodistribution of polystyrene (nano)particles in zebrafish embryos at different developmental stages, *Aquatic Toxicology* 190: 40-45.

- Vijver M.G. & P.J. van den Brink (2014). Macro-Invertebrate Decline in Surface Water Polluted with Imidacloprid: A Rebuttal and Some New Analyses, PLoS ONE 9(2): e89837.
- Vijver M.G., E.R. Hunting, T.A.P. Nederstigt, W.L.M. Tamis, P.J. van den Brink & P.M. van Bodegom (2017). Postregistration Monitoring of Pesticides is Urgently Required to Protect Ecosystems, Environmental Toxicology and Chemistry 36(4): 860-865.
- Xiao Y., M.G. Vijver & W.J.G.M. Peijnenburg (2018). Impact of water chemistry on the behavior and fate of copper nanoparticles, Environmental Pollution 234: 684-691.
- Zhai Y., E.R. Hunting, M. Wouterse, W.J.G.M. Peijnenburg & M.G. Vijver (2017). Importance of exposure dynamics of metal-based nano-ZnO, -Cu and -Pb governing the metabolic potential of soil bacterial communities, Ecotoxicology and Environmental Safety 145: 349-358.



Foto: Vijver



Foto: Vijver



Moleculen en deeltjes testen

Martina G. Vijver is met ingang van 1 december 2017 benoemd tot hoogleraar Ecotoxicologie aan het Centrum voor Milieuwetenschappen van de Universiteit Leiden. Vijver bestudeert het gedrag, de opname en de effecten die chemische stoffen en nanomaterialen veroorzaken in een verscheidenheid aan ongewervelde organismen en vissenlarven. Als werkpakketleider binnen een Europees onderzoekprogramma is Vijver verantwoordelijk voor het identificeren van de ecologische effecten van nanodeeltjes na langdurige blootstelling. Daarnaast speelt een deel van het onderzoekswerk van de groep van Vijver zich af in de onderzoeksfaciliteit Levend Lab (uit crowdfunding ontstaan) alwaar experimenten uitgevoerd worden in 36 proefsloten en in > 48 mesocosms. Het laboratoriumwerk naast het veldwerk in een gecontroleerde omgeving is een spannende en noodzakelijke combinatie.

Maatschappelijke bevlogenheid

De wetenschappelijke onderzoeksresultaten vanuit de onderzoeksgroep van Vijver worden veelvuldig vertaald naar beleid (o.a. de ontwikkeling van metalen effect modellen, uitvoering van Evaluatie Duurzame gewasbeschermingsbeleid, het schrijven van het boek Bestrijdingsmiddelen en Waterkwaliteit als reactie op dat beleid). Voor de nieuwe nanomaterialen ligt het anders; hier lopen we met onze onderzoeken naar blootstelling, opname en effecten hand

in hand met de industriële ontwikkelingen. Daardoor kan er een sturende rol zijn voor het onderzoek om tot meer duurzame danwel veiligere producten en materialen te komen voor het ecosysteem en de menselijke gezondheid. Om dit uit te dragen heeft ze een korte lezing gegeven die te vinden is op youtube bij de Universiteit van Nederland. Als hoogleraar begeleidt Vijver tientallen promovendi. Daarnaast is ze uiteraard betrokken zijn bij het onderwijs en het begeleiden van studenten, met name binnen de bachelor- en masteropleidingen Biologie en aan het Leiden University College.

Curriculum

Martina (Martha Gerdina) Vijver werd geboren op 28 april 1975 in IJlst (Friesland). In 1994 behaalde zij het VWO-diploma aan het Bogerman College in Sneek. Datzelfde jaar begon ze met een HBO-studie milieuchemie aan de Rijkshogeschool IJsselland te Deventer. Na wat korte projecten, is ze gaan werken bij het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM) te Bilthoven bij prof.dr. W.J.G.M. Peijnenburg. Via een consortium van Rijkshogeschool IJsselland en de University of Greenwich, UK, Dept. Environmental Science heeft ze in 2000 haar Master of Science by research diploma cum laude behaald. In 2000 is ze gaan promoveren op de Vrije Universiteit Amsterdam, afdeling dieroecologie bij prof. dr. N.M. van Straalen en co-promotoren dr.ir. C.A.M. van Gestel en dr.ir. J.P.M. Vink (toentertijd RIZA). Na haar promotie in 2005 aan de Vrije Universiteit in Amsterdam werd Vijver universitair docent aan de Universiteit Leiden in de groep van prof.dr. G.R. de Snoo. Ze heeft meer dan 110 peer-reviewed publicaties op haar naam staan die wereldwijd geciteerd worden. Ze draagt bij aan 2 verschillende tekstboeken voor het onderwijs op het gebied van de milieuwetenschappen, behaalde een ASPASIA, VENI, VIDI (alle 3 NWO-beurzen) en meerdere Europese onderzoek-beurzen binnen en ontving diverse prijzen, waaronder de World Cultural Council in 2017 voor het uitdragen van wetenschappelijke onderzoeksresultaten. Ze is (mede)oprichter van het network Researchers In Science for Equality in 2015, een platform voor de vrouwelijke wetenschappers aan de faculteit Wis- en Natuurwetenschappen.

