

Prof.dr.ir. W.J.G.M. Peijnenburg

Elementen verbinden



Universiteit Leiden

Elementen verbinden

Oratie uitgesproken door

Prof.dr.ir. W.J.G.M. Peijnenburg

bij de aanvaarding van het ambt van hoogleraar op het gebied van

Environmental Toxicology and Biodiversity

aan de Universiteit Leiden

vanwege het RijksInstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM)

op maandag 19 september 2011



Universiteit Leiden

Mijnheer de rector magnificus, zeer gewaardeerde toehoorders,

Het einde van de vorige eeuw kenmerkte zich door een versnelde toename van de zorg over de toekomst van onze aarde in het algemeen en de kwaliteit van onze leefomgeving in het bijzonder. Ecologisch gerichte bewegingen zoals de Groenen wonnen snel terrein en het begrip "ECO" was in. Producten verkochten beter als ze een groen of biologisch keurmerk hadden en milieu stond in deze tijden van ongebreidelde economische groei hoog op de politieke agenda.

Tegenwoordig zijn de zorgen over het voortbestaan van de aarde en onze leefomgeving veel meer complex en worden ze direct gelinkt aan zorgen over de vraag of we de huidige levensstijl in ontwikkelde landen nog kunnen volhouden, en aan zorgen over het verlies aan ontwikkelingspotentiaal van derde wereld landen en opkomende economieën.

Het sleutelwoord bij deze zorgen is **duurzaamheid**. Volgens de VN-commissie Brundtland uit 1987 is duurzame ontwikkeling een ontwikkeling die aansluit op de behoeften van het heden zonder het vermogen van toekomstige generaties om in hun eigen behoeften te voorzien in gevaar te brengen. Vaak wordt deze definitie uitgelegd als het gegeven dat we het ook voor de komende generaties mogelijk moeten maken om op dezelfde wijze zoals wij dat doen, gebruik te maken van de diensten die onze aarde ons biedt. Duurzaamheid gaat dan ook over de schaarste van de hulpbronnen waarmee welvaart wordt voortgebracht, zowel nu als in de toekomst. We willen voorkomen dat essentiële grondstoffen, die vaak op tijdschalen van miljoenen jaren zijn gegeneerd, uitgeput raken. De oppervlakte en inhoud van de aarde zijn immers eindig en de opnamecapaciteit van de atmosfeer en van onze natuurlijke omgeving is beperkt. In de oorsprong is duurzaamheid een begrip uit de ecologie en ging het er om, om de natuur zodanig te beheren dat de natuurlijke structuren en processen in de loop der tijden niet significant werden aangetast. Om duurzaamheid te garanderen mochten er niet meer producten uit de natuur worden onttrokken dan er door natuurlijke aanwas vanzelf

weer bij zouden komen. Als het lukt om dit vol te houden, dan kunnen ook toekomstige generaties gebruik blijven maken van de hulpbronnen. Bij duurzame ontwikkeling is sprake van een ideaal evenwicht tussen ecologische, economische en sociale belangen. Dit wordt vaak aangeduid als een evenwicht van de 3 P's van People, Planet, en Profit. De 3 P's betekenen dat mensen, het milieu en de winst in een harmonieuze wijze gecombineerd dienen te worden. Wanneer deze combinatie van 3 niet harmonieus is, gaan een of meerdere elementen hieronder lijden. Wanneer bijvoorbeeld winst te veel prioriteit krijgt, dan worden mens en milieu de dupe, bijvoorbeeld door slechte arbeidsomstandigheden of door vernietiging van de natuur. Andersom ziet de slogan ook het winstkenmerk als essentieel onderdeel van ontwikkeling dat niet verwaarloosd dient te worden. Duurzaamheid en maatschappelijk verantwoord ondernemen krijgen dan ook steeds meer aandacht van het bedrijfsleven.

Duurzaamheid wordt een steeds belangrijker factor in de afweging der dingen. Daar komt bij dat opkomende groot-schalige mondiale milieuproblemen zoals klimaatverandering, overmatig landgebruik, uitspoeling van fosfor en stikstof, trek van mensen naar steeds verder uitdijende steden, interen op de voorraad zoetwater, en verlies van biodiversiteit, niet zozeer een probleem vormen voor de nationale volksgezondheid maar eerder voor het voortbestaan van de mensheid als geheel. De afwegingen die beleidsmakers moeten maken in deze woelige economische tijden zijn dan ook zeer complex. Ingegeven door de eisen die we stellen aan een duurzame samenleving en een duurzame leefomgeving, gaat het nationale en internationale milieubeleid dan ook meer en meer in de richting van de integrale beoordeling van de bedreigingen van onze leefomgeving. Een belangrijk uitgangspunt van beleid is momenteel dan ook het perspectief voor duurzaam handelen. De aspecten die hierbij een rol spelen zijn heel divers, onder andere is dit het gegeven dat beleidsmakers rekening dienen te houden met de relatie tussen de kwaliteit van de natuur en directe en indirecte effecten op de gezondheid. Oftewel: we willen niet dat mensen

ziek worden vanwege een slechte milieukwaliteit of vanwege nieuwe vormen van verstoringen zoals geluid, straling, en licht. Ook dienen de beleidsmakers rekening te houden met de relatie tussen de kwaliteit van het milieu en het feit dat een mens zich prettig moet voelen in zijn leefomgeving, denk bijvoorbeeld aan teken die ervoor zorgen dat we bang worden om in een bos rond te lopen of aan exotische waterorganismen die een niche weten te vinden in Nederland, zoals Japanse oesters met scherpe randen waardoor zwemmen wordt bemoeilijkt. Ook vinden we het niet prettig als de bijen verdwijnen en we daardoor een significant gedeelte van onze cultuurgewassen dreigen te verliezen. Als we het hebben over de aantasting van de kwaliteit van de leefomgeving, dan moeten we ook bedenken dat daar waar we als mensen uit onze slaap gehouden worden door de vaak langskomende HSL-trein of door laag overkomende vliegtuigen, dan wel door een teveel aan licht in de duisternis, hetzelfde geldt voor beesten en planten. Bovendien komen al deze stressoren ook nog eens in combinatie voor en zijn er bijvoorbeeld meer zendmasten op plaatsen waar vliegtuigen laag overkomen.

Verder is dan nog voor wat betreft het perspectief voor duurzaam handelen de relatie van belang tussen het welzijn van mensen en ecosystemendiensten zoals het vermogen van ecosystemen om zichzelf te zuiveren en om in beperkte mate voedingsstoffen te genereren. Hierdoor blijft bijvoorbeeld de grondwaterkwaliteit op peil, kan in geval van bodemverontreiniging soms volstaan worden met niets doen omdat de bodem zelf de verontreiniging afbreekt, en dragen natuurlijke processen bij aan een goede bodemvruchtbaarheid. Ecosystemendiensten zijn direct gekoppeld aan een duurzaam gebruik van water en bodem, en dat betekent dat onder andere de chemische kwaliteit niet mag verslechteren, dat de biomassa en biodiversiteit niet mogen verminderen, dat de productiviteit van landbouwgrond hetzelfde moet blijven.

Een andere trend die momenteel speelt is dat daar waar het milieubeleid vroeger preventief van aard was (zoveel mogelijk

voorkomen dat er risico's optreden door bijvoorbeeld strenge normen voor stoffen vast te stellen), het tegenwoordig gaat om het integraal afwegen van risico's en van kansen. Vroeger was de "milieugebruiksruimte" een belangrijk thema, nu gaat het over het ecologisch perspectief voor duurzaam handelen. Milieubeleid in het perspectief van duurzaam handelen, betekent dat normen niet meer worden afgeleid, maar dat er wordt gekeken naar de ruimte voor invulling van op ecologie gebaseerde "normen", of beter gezegd naar de invulling van de "gebruiksruimte" van landelijk en stedelijk milieu. In landelijk gebied komen er zodoende meer perspectieven om op te treden tegen aantasting van de leefomgeving. Een voorbeeld hiervan is de aanpak van de grootschalige bodemverontreiniging van de Kempen, waarbij steeds meer gekeken wordt naar wat er daadwerkelijk in het veld gebeurt en wat het daadwerkelijke draagvermogen van het ecosysteem is. Saneren is dan ook maar mondjesmaat aan de orde.

Samenvattend houden deze ontwikkelingen in dat er steeds meer zorg komt over de wijze waarop we met onze leefomgeving omgaan. Maatschappelijke trends hebben hun invloed op het milieubeleid waardoor preventief beleid is overgegaan in het integraal afwegen van risico's. Hierbij wordt steeds meer rekening gehouden met het vermogen van de natuur om aantastingen door bijvoorbeeld giftige stoffen te dempen of zelfs helemaal te neutraliseren. De afgelopen decennia laten hierbij twee duidelijke trends zien: (1) regelgeving komt in toenemende mate vanuit de EU, en (2) milieuproblemen worden steeds meer onderdeel van het klemmende vraagstuk van ruimtelijke ordening. De bescherming van mens en milieu moet afgewogen worden tegen maatschappelijk nut, noodzaak en kosten. Het gaat daarbij net zo goed om de gebouwde leefomgeving (inpassing infrastructuur van (spoor)wegen, hoogspanningslijnen en antennes, vlieghavens, maar ook risico's van bijvoorbeeld ondergronds bouwen, etc.) als het landelijk gebied (afweging landbouw versus natuur, behoud van biodiversiteit, etc.).

Naast deze bedreigingen zijn er dan ook nog de verontreinigende toxische stoffen die in het milieu terecht komen en daar een bedreiging kunnen vormen voor mens en natuur als gevolg van vaak onvermoede effecten. Zorg voor onze leefomgeving kwam in feite voor het eerst tot uiting in 1962 met de publicatie van het welbekende boek “Silent Spring” door Rachel Carson. In Silent Spring wordt belicht hoe een dappere vrouw, die zich toen al enigszins bewust was van de effecten van milieugevaarlijke stoffen, het opneemt tegen de industrie omdat ze om zich heen ziet dat er allerlei dingen mis gaan: vogels vallen dood neer, produceren geen nakomelingen meer, en het wordt stil in de paartijd van de vogels. Na jaren van zelfstudie is ze ervan overtuigd dat dit komt door het grootschalige gebruik van DDT bij het bestrijden van muggen die malaria overbrengen. Rachel Carson roept dan ook op tot een ban van bestrijdingsmiddelen en in feite was er toen sprake van een eerste Socio-Economische Afweging (oftewel: SEA) van de noodzaak om chemische stoffen te produceren en op de markt te brengen. Een van de belangrijkste tegenargumenten die door de industrie en andere belangengroeperingen werd ingebracht, was het gegeven dat DDT enorm effectief was in het bestrijden van malariamuggen. Ook tegenwoordig is dat nog steeds het geval en nog steeds wordt DDT in grote hoeveelheden gebruikt in een groot aantal landen. Bij de SEA van DDT speelden de effectiviteit van DDT en het gegeven dat DDT in die tijd als een wondermiddel werd gezien, een belangrijke rol. Niet voor niets kreeg Paul Hermann Müller in 1948 als eerste niet-medicus de Nobelprijs voor de Geneeskunde voor zijn uit 1939 stammende ontdekking dat DDT werkzaam is als insecticide. Ondanks de tegenspraak en de kritiek op Rachel Carson is door haar boek het onderzoek naar de neveneffecten van bestrijdingsmiddelen sterk gestimuleerd. Het duurde echter nog tot het begin van de zeventiger jaren voordat de productie en het gebruik van DDT werden verboden in de Westerse Wereld.

Na DDT heeft het nog jaren geduurd voordat de problemen de pan uit rezen en er daadwerkelijk aandacht kwam voor de bescherming van het milieu: velen van u zullen zich nog de schuimbergen op maandag herinneren op het oppervlaktewa-

ter nabij stuwen en dammen, de Rijn en de Maas waren af en toe bezaaid met dode vis, vennetjes en meertjes zagen bij tijd en wijlen eerst groen en daarna bruin als gevolg van overbemesting. Achteraf gezien zijn de dioxineramp in Seveso in 1976 en de Sandoz brand nabij Basel in 1986 de volgende omslagpunten geweest die er voor hebben gezorgd dat de problemen van een vervuuld leefmilieu daadwerkelijk werden erkend én ook op grote schaal aangepakt. In Nederland kwam hier de Lekkerkerk-affaire nog tussendoor die vanaf 1980 leidde tot veel opschudding en tot de afgraving van een groot deel van de woonwijk. De feitelijke oorzaak van de Lekkerkerk-affaire was dat in de zestiger jaren nogal gemakkelijk met chemisch afval werd omgegaan en de langetermijnproblemen van het dumpen van afval in de bodem nog niet werden ingezien.

Voor wat betreft de voorbeelden van DDT, Lekkerkerk en de eutrofiëring van meren en vennen, heeft het al met al ruwweg 15 jaar geduurd voordat na signalering van het probleem van een vervuilde leefomgeving, het probleem ook daadwerkelijk werd opgelost. Oud-minister van milieu, Pieter Winsemius, was een van de eersten die de beleidscyclus van signaleren tot oplossen van een probleem heeft onderkend. Deze beleidscyclus wordt in de literatuur op verschillende wijzen uitgewerkt. Winsemius onderscheidt in zijn boek ‘Gast in eigen huis’ een viertal fases:

1. signalering,
2. erkenning,
3. oplossing, en
4. beheer.

Omdat evaluatie-achteraf (oftewel ex post evaluatie) weer een signalerende rol kan spelen bij het herzien van beleid, is de cirkel gesloten: de cyclus begint opnieuw. Interessant is om na te gaan in hoeverre we voor wat betreft het signaleren van milieuproblemen en het beleidsmatig oplossen ervan, geleerd hebben van de ervaringen uit het verleden. Ik denk dat dit wel degelijk het geval is: alhoewel we af en toe verrast worden door onverwachte effecten die stoffen in het milieu kunnen hebben (denk bijvoorbeeld aan de bioaccumulatie van polaire fluor-

verbindingen in de voedselketen, en de hormoonverstorende werking van allerlei bestrijdingsmiddelen, geurstoffen, brandvertragers, oplosmiddelen, en medicijnen), kunnen we op basis van ervaringen met vergelijkbare stoffen vaak al snel inschatten of een stof een potentiële bron van zorg is. Zo is al in 1989 het gebruik van Ugilecs verboden vanwege de structurele gelijkenis met PCB's, terwijl deze gebromeerde verbindingen toen nog niet meer dan 8 jaar op de markt waren gebracht. En verser in het geheugen ligt de voortvarende nadruk op externe veiligheid snel na de vuurwerkkramp in Enschede en de cafébrand in Volendam in de nieuwjaarsnacht van 2000 op 2001. Bij de laatste voorbeelden is de beleidscyclus binnen een jaar of 10 al in de eindfase van beheer gekomen en is de publieke aandacht voor het probleem van externe veiligheid alweer weggeëbd. Voor genetisch gemodificeerde organismen is de maatschappelijke discussie op voorhand al dermate fel geweest dat er nooit sprake is geweest van maatschappelijke acceptatie van genetisch gemodificeerde organismen. Terugkomend op stoffen, spelen nanodeeltjes op dit moment een belangrijke rol. Alhoewel er nog geen aanwijzingen zijn dat synthetische nanodeeltjes daadwerkelijk leiden tot ongewenste effecten op mens en milieu en hoewel het zelfs zo is dat er binnen Europa nog gediscussieerd wordt over een definitie van wat een nanodeeltje nou precies is, wordt er nationaal en internationaal al hard gewerkt om methodieken te ontwikkelen waarmee de risico's van nanodeeltjes kunnen worden gekwantificeerd. Zorg voor de op dit moment nog totaal onbekende risico's van hele kleine vaste deeltjes ligt hieraan ten grondslag.

Al met al is een duidelijke trend waarneembaar van het steeds sneller reageren op problemen en het oplossen ervan, bij voorkeur voordat ze ontstaan zijn. Het is mijns inziens duidelijk dat we hierbij geleerd hebben van ervaringen uit het verleden, maar in sommige gevallen, zoals bij de aanpak de Mexicaanse griep, wordt minder rationeel gehandeld en schieten we niet alleen ons doel voorbij, maar kost dit ook nog eens handenvol geld.

Risicobeoordeling stoffen

De grote vraag die al deze voorbeelden gemeen hebben, is of er sprake is van daadwerkelijke effecten, dan wel of dit in de toekomst het geval zal zijn. Voor wat betreft stoffen in het milieu is deze vraag in het verleden in het milieubeleid ingevuld door als uitgangspunt van beleid te hanteren dat vervuiling ongewenst is en dat we streven naar een minimalisatie van de vervuiling. Dit is ook wel aangeduid met de term "Meer is beter". Oftewel: hoe meer gedaan wordt om de vervuiling te voorkomen dan wel om de vervuiling weg te halen, des te beter het is. In het preventieve risicobeleid is hierbij voor nietcarcinogene stoffen als uitgangspunt gehanteerd dat giftige stoffen pas boven een bepaald concentratieniveau effecten zullen veroorzaken. Dit wordt ook wel het concept van toxische thresholds genoemd (tegenwoordig gaan we er overigens vanuit dat ook concentraties beneden deze concentratie kunnen bijdragen aan effecten, of kan zelfs gezegd worden: we weten nu wel beter). Door het toepassen van hoge extrapolatiefactoren wordt rekening gehouden met allerlei onzekerheden die er zijn bij het schatten van het daadwerkelijk effect van stoffen in het milieu. Dit leidt vaak tot hele lage stofgerichte risicogrenzen om er maar zeker van te zijn dat er geen ongewenste effecten in het milieu optreden.

Aan de andere kant is er het curatieve beleid dat zich niet richt op het voorkomen van milieuproblemen, maar op het oplossen ervan. Ook hier is tijdenlang het uitgangspunt van vaste normen gehanteerd, waarboven er iets gedaan moet worden om de vervuiling te beperken of weg te halen. Langzaam aan is echter de vraag naar boven gekomen in hoeverre er in geval van toxische druk boven de norm, sprake is van daadwerkelijk waarneembare effecten op de biodiversiteit of op onze leefomgeving. Vaak is er immers een grote verscheidenheid aan planten en beesten zichtbaar in een boven de milieunorm vervuilde omgeving, en vraag je je af waarom bepaalde locaties gesaneerd dienen te worden. Dit zeker als je je realiseert hoezeer de kosten voor bodemsanering de pan uitrijzen. Behalve de vragen over de relatie tussen een slechtere chemische milieukwaliteit en de effecten op biodiversiteit en leefomgeving was het ook

nog eens zo dat het bedrijfsleven meer en meer begon te klagen dat dit preventieve milieubeleid en de strenge normen de concurrentiepositie aantastten. Deze klachten werden deels ingegeven door het feit dat het stoffenbeleid steeds meer vanuit Europa werd aangestuurd. Een gevolg hiervan was dat de risicobeoordelingen van stoffen vaak jarenlang konden duren en kostbaar waren voor zowel de verschillende overheden alsook voor de industrie. Bovendien was het de taak van de overheden om aan te tonen dat er gevaren verbonden waren aan de emissie van bepaalde stoffen. Met de komst van de nieuwe Europese wetgeving betreffende de Registratie, Evaluatie en Autorisatie van Chemische stoffen, oftewel REACH, is de EU aan een groot deel van de bezwaren van de industrie tegemoet gekomen. Deze nieuwe regelgeving moet leiden tot het onder controle brengen van de milieu- en gezondheidsrisico's van de enorme aantallen chemische stoffen die momenteel in gebruik zijn in de EU. Om te voorkomen dat dit leidt tot veel kostbaar laboratoriumonderzoek en ongewenste dierproeven, bepleit de commissie onder andere het verregaande gebruik van computermodellen in de risicobeoordeling voor het voorspellen van het gedrag en de effecten van stoffen in het milieu. Ook is binnen REACH de bewijslast omgedraaid en is het aan de industrie om aan te tonen dat de stoffen die gebruikt worden, veilig zijn. In de eerste fases van de implementatie van REACH ligt de nadruk op de risicobeoordeling van de 3200 stoffen die in de hoogste tonnages op de markt worden gebracht. Opmerkelijk is dat een eerste analyse aantoont dat ondanks het streven naar minimaal gebruik van dierproeven binnen REACH, de aangeleverde dossiers toch voornamelijk gebaseerd zijn op laboratoriumtesten. Alternatieven methodieken zoals Quantitatieve Structuur Activiteits Relaties (QSAR's), Read Across, en Exposure Based Waiving worden nog niet of nauwelijks toegepast. Dit komt niet alleen doordat er nog weinig kennis en ervaring is met het gebruik van alternatieve methodieken voor het schatten van gedrag en effecten van stoffen, ook is het eenvoudigweg zo dat het uitvoeren van dierproeven met stoffen die enorm belangrijk zijn voor de industrie, een relatief lage extra investering vergt. Ik denk dat dit ongetwijfeld zal veranderen in

de volgende fases van REACH, als de lager-tonnage stoffen aan de beurt zijn om beoordeeld te worden. Met de implementatie van REACH komt overigens meer en meer naar voren dat REACH voor een deel een tandenloze tijger is en dat het Europese Chemicaliën bureau ECHA weinig mogelijkheden heeft om de industrie aan zijn verplichtingen te houden. Zo werd in juli j.l. in Nature nog gerapporteerd dat een willekeurige analyse van de samenvattingen van 200 ingeleverde dossiers aantoonde dat veel van de aangeleverde data gebaseerd zijn op oude testen waarvan bekend is dat ze niet voldoen aan de huidige eisen. Daardoor zijn de data onvoldoende betrouwbaar en zou de industrie alternatieve testen moeten voorstellen, hetgeen niet gebeurd is. Doordat ECHA van plan is om niet meer dan 5 % van de dossiers zonder voorstellen voor alternatieve testen, te bekijken is het duidelijk dat in veel gevallen de industrie zijn verantwoordelijk niet neemt, volstaat met inadequate gegevens, en daar ook nog mee weg kan komen.

Een belangrijk onderdeel van REACH dat nog niet is ingevuld, is de autorisatie van stoffen. Voor stoffen waarvoor aangetoond is dat er sprake is van onaantvaardbare risico's voor mens of milieu, moet hierbij een integrale afweging gedaan worden van het socio-economische belang van deze stoffen alsook van mogelijke alternatieven. Dit zijn uiteraard geen gemakkelijk afwegingen, waarbij zaken als life cycle analyse, maatschappelijk nut, concurrentiepositie bedrijfsleven en technische en economische mogelijkheden voor vervanging van stoffen gewogen dienen te worden met de mate van schadelijkheid.

Naast ontwikkelingen in beleid zijn voor wat betreft de integrale risicobeoordeling van de bedreigingen van onze leefomgeving ook wetenschappelijke en maatschappelijke ontwikkelingen van belang. In tijden waarin geen sprake meer is van de al eerder genoemde ongebreidelde economische groei, komt meer en meer de vraag naar voren of het wel verantwoord is om strenge normen te stellen met alle maatschappelijke consequenties van dien. Zoals al eerder aangegeven: het milieubeleid is succesvol geweest en er is nu veelal sprake van een grauwe sluier aan verontreinigingen, met lokaal of regionaal gehalten

aan contaminanten die hoger zijn dan hetgeen toelaatbaar wordt geacht. De effecten van de aanwezigheid van een grauwe sluier van mengsels van stoffen die allemaal in relatief lage gehalten aanwezig zijn, zijn lang niet altijd direct zichtbaar. Dit temeer daar eventuele effecten vaak worden overschaduwd door de aanwezigheid van andersoortige stressoren zoals simpelweg de seizoensmatige en klimaat gerelateerde variaties in temperatuur en neerslag, geluid, straling, licht, enzovoorts. Ook komen er steeds meer bewijzen dat het feit dat een stof niet in verhoogde gehalten aanwezig is in het milieu, niet automatisch betekent dat er géén effecten optreden. Heel vaak is er sprake van hele subtiele, indirecte, effecten die niet met het blote oog waarneembaar zijn, maar bijvoorbeeld wel direct ingrijpen op voedselketens of op het habitat van soorten. Ook de informatie-uitwisseling tussen soorten kan op subtiele wijze worden verstoord. Denk aan planten die allerlei ‘noodstoffen’ uitscheiden als ze aangevallen worden, maar ook aan bijvoorbeeld feromonen die uitgestoten worden om soortgenoten aan te trekken, en aan de lopende discussie over de rol van synthetische pyrethroïden op bijen. Vaak is bij deze subtiele effecten sprake van specifieke slot-sleutel relaties die op ingenieuze wijze door stoffen worden verstoord, overigens een onderwerp waar een duidelijke link ligt met de gedragsbiologie, een onderzoeksgebied waarop in Leiden veel ervaring is.

Aan de andere kant komen er ook steeds meer inzichten beschikbaar waaruit blijkt dat het feit dat een stof in verhoogde gehalten in het milieu aanwezig is, niet per sé betekent dat er dan ook altijd sprake is van effecten. Zo worden, afhankelijk van de verblijftijd in het milieu, veel stoffen minder beschikbaar voor opname door planten en beesten en bovendien kan de samenstelling van het water of van de bodem deze biobeschikbaarheid sowieso veranderen. Dit betekent dat organismen lang niet altijd last hebben van verontreinigingen omdat ze vaak maar aan een marginale fractie van de aanwezige contaminanten worden blootgesteld. Zo heeft Anja Verschoor, collega bij het RIVM en AIO bij het CML, zeer recent op basis van langjarige veldmetingen in het stroomgebied van de Dom-

mel, heel mooi laten zien wat de invloed is van de watersamenstelling op metaal toxiciteit, en hoe door seizoensafhankelijke invloeden de risico's van de aanwezigheid van een mengsel van metalen het grootste zijn in het voorjaar. Om een goed beeld te krijgen van de risico's van de metalen in de Dommel, zou volstaan kunnen worden met niet meer dan drie maal per jaar monitoren van de waterkwaliteit. Bovendien blijkt op basis van geavanceerde modellering van de interactie van metalen met de biologische receptoren van toxiciteit, de zogenaamde biotic ligands, dat vooral de risico's van koper maar ook van zink veel lager zijn dan je zou verwachten op basis van het vergelijken van metaalgehalten in het water met de waternormen. Saneren van de Dommel op basis van totaalgehalten van deze zware metalen zou wat dat betreft dan ook weggegooid geld zijn.

Milieutoxiciteit en biodiversiteit

Wat mij bijzonder fascineert binnen dit krachtenveld van maatschappelijke en wetenschappelijke ontwikkelingen, is de vraag naar de werkelijke effecten van stoffen in het milieu: welke processen en mechanismen zijn van belang voor het gedrag van een stof in het milieu en tot welke effecten leidt dit? Dit wetende dat er behalve stoffen nog veel meer verstoringende factoren zijn die van invloed zijn op onze leefomgeving, soms in veel grotere mate dan stoffen. Zoals ik al eerder heb aangegeven is het lastig om de vraag naar daadwerkelijke effecten van stoffen in het milieu zo 1-2-3 te beantwoorden. De uitdaging is dan ook om uit de grote wirwar aan stressoren, de invloed van contaminanten te destilleren. Bovendien is er sprake van interacties tussen stressoren, zijn de effecten van stressoren op de biodiversiteit bijna nooit lineair, en altijd zijn sommige contaminanten essentieel voor een florerende natuur zodat er ook voorbeelden zijn waarbij de aanwezigheid van contaminanten de biodiversiteit stimuleert. Hierbij moet dan ook nog eens bedacht worden dat er altijd sprake is van heel divers samengestelde ecosystemen met een grote diversiteit aan soorten in de niet-aangetaste referentiesituatie. Het is ondoenlijk om het effect van duizenden stoffen voor elke taxonomische groep uit te zoeken, laat staan dat het mogelijk is

om te begrijpen hoe veranderende milieucondities de effecten van 'alle' stoffen in het milieu beïnvloeden.

Toch zijn er verschillende aanpakken mogelijk om effecten in het veld aan te tonen:

1. Op de eerste plaats is dit een grootschalige statistische benadering zoals door mijn RIVM collega's Leo Posthuma en Dick de Zwart is uitgevoerd naar de effecten van toxicanten in oppervlaktewater op de vispopulaties in de Amerikaanse staat Ohio. De basis van deze aanpak is een analyse op basis van meerjarige databestanden over het voorkomen van soorten gekoppeld aan grootschalige informatie over een groot scala aan milieustressoren.
2. In de tweede plaats kan een meer specifieke en meer kleinschalige stoffeninstek worden gekozen waarbij op basis van meer specifiek inzicht in de dominante chemische en niet-chemische stressoren een verdere verfijnde statistische benadering kan worden gebruikt om de relatieve invloed van elke stressor te kwantificeren. Recent is bijvoorbeeld een integrale studie uitgevoerd naar de neveneffecten van bestrijdingsmiddelen c.q. de neveneffecten van grootschalige landbouw op de biodiversiteit van landbouwgronden en die studie laat zien dat de biodiversiteit afneemt naarmate de productie toeneemt.
3. Ten derde kan gekozen worden voor een specifieke stoffeninstek waarbij in meer detail gekeken wordt naar de effecten van stoffen. Bij deze aanpak is de ruimtelijke schaal vaak van belang en deze kan variëren van een sloot tot een groot gebied zoals het voorbeeld van metalen in de Dommel dat ik al eerder heb aangehaald, of de Kempen. In grotere gebieden gaat het bij deze aanpak vaak om een mix van stoffen die verantwoordelijk is voor de effecten. Om veldeffecten van stoffen boven water te krijgen is het handig om te beginnen bij hoogverontreinigde locaties om van daaruit door te gaan naar minder verontreinigde gebieden. Effectstudies langs gradiënten van verontreiniging die specifiek gericht zijn op specifieke milieucontaminanten zijn hierbij een heel geschikt hulpmiddel. Bovendien kunnen

gerichte labsimulaties en meso- en microcosm studies met gecombineerde blootstelling helpen om de waargenomen veldeffecten te interpreteren. Binnen het CML is Sasha Ieromina op deze manier bezig om in haar AIO-onderzoek na te gaan hoe het zit met de feitelijke effecten van bestrijdingsmiddelen in het bollengebied.

Binnen de leerstoel Milieutoxiciteit en Biodiversiteit richten we ons op hetgeen er in het veld gebeurt en dit doen we door drie basiselementen met elkaar te verbinden:

- op de eerste plaats betreft dit de stressoren: we zijn voor wat de stoffen betreft, geïnteresseerd in wat genoemd worden de "emerging compounds", oftewel stoffen die om een bepaalde karakteristiek zorgen voor specifieke effecten op mens en milieu. Daarnaast besteden we aandacht aan niet-stofgebonden stressoren zoals straling en klimaatinvloeden.
- Ten tweede houden we in ons onderzoek expliciet rekening met de specifieke karakteristieken van planten en beesten, de zogenoemde ecological traits.
- Ten derde bestuderen we expliciet de invloed van de samenstelling van het abiotische milieu, dus de fysisch-chemische samenstelling van water of bodem, op daadwerkelijk optredende effecten.

Het verbinden van deze elementen doen we langs drie lijnen:

1. veldonderzoek;
2. labonderzoek waar we in meer detail kijken naar de impact van specifieke stressoren teneinde veldeffecten te kunnen onderbouwen en voorspellen door gericht onderzoek;
3. bureaustudies, zoals bijvoorbeeld QSAR-gericht onderzoek.

Centraal staat dus de interactie tussen stressoren, organismen, en het abiotische milieu en de effecten op de biodiversiteit zijn dan ook een functie van het beest of de plant, van de stressor, en van het milieu. Het uiteindelijke doel is om te komen tot stofspecifieke impactmodellen van stoffen op ecosystemen die gebaseerd zijn op gecombineerde blootstellings- en effectmodellen voor water en bodem.

Graag wil ik kort langs de drie basiselementen van ons onderzoek lopen:

Zoals gezegd gaat het in de eerste plaats om stoffen en mengsels van stoffen die om een bepaalde stofeigenschap reden tot zorg geven. Een van de stofgroepen waar we aan werken (ik zou zeggen: in lijn met de meerjarige belangstelling vanuit het CML, zoals onder andere blijkt uit de bestrijdingsmiddelenatlas) betreft de bestrijdingsmiddelen. Ondanks jaren van studie is nog steeds niet duidelijk wat nou precies de neveneffecten van bestrijdingsmiddelen zijn. Zo blijkt uit de meerjarenevaluatie gewasbeschermingsmiddelen dat de trend in afname van het gebruik van pesticiden, strijdig is met gegevens over de aanwezigheid van bestrijdingsmiddelen in het milieu en blijkt de feitelijke afname van effecten van bestrijdingsmiddelen in oppervlaktewater veel minder te zijn dan berekend wordt op basis van gebruikscijfers. Ook is het vandaag pas 10 dagen geleden dat een speciale commissie van de Gezondheidsraad heeft geadviseerd om te onderzoeken in hoeverre er sprake is van blootstelling van mensen die wonen nabij landbouwgronden waar bestrijdingsmiddelen worden gebruikt. Een karakteristiek probleem bij het vaststellen van de effecten van bestrijdingsmiddelen is dat ze maar in bepaalde tijden van het jaar worden gebruikt waarbij er sprake is van piekconcentraties bovenop de grijze deken van al aanwezige verontreinigingen.

Naast bestrijdingsmiddelen is de biobeschikbaarheid van metalen een van onze interessegebieden. Metalen zijn natuurlijk al decennialang onderwerp van studie, maar we zijn nu in de fase beland waarin de nieuwe inzichten met betrekking tot de factoren die de biobeschikbaarheid van metalen beïnvloeden, geïmplementeerd kunnen worden in het milieubeleid. Wat dat betreft zijn metalen een schoolvoorbeeld van een groep van stoffen waarvan door expliciet rekening te houden met de verschillen in samenstelling van oppervlaktewater of de grond, locatiespecifiek de risico's kunnen worden vastgesteld. Heel vaak blijken deze lokale risico's veel minder te zijn dan de generieke metaalnormen ons doen geloven. Dit inzicht was en is voor de metaalindustrie aanleiding om fors te investeren

in het verder implementeren van biobeschikbaarheid in de risicobeoordeling van zware metalen, zodat de feitelijk risico's van de aanwezigheid van mengsels van metalen in het milieu integraal kunnen worden gewogen. Hao Qiu houdt zich binnen zijn promotieonderzoek bezig met de risico's van mengsels van metalen in de Nederlandse bodem.

Een derde groep van stoffen met hele specifieke eigenschappen, zijn de nanomaterialen. Zoals te lezen valt in een recente publicatie van Lan Song, komen in de aanpak van het nano-onderzoek dat we gezamenlijk met de RIVM-experts binnen het KIR-nano-platform doen, alle lijnen van onderzoek samen. Een van de punten van het nano-onderzoek betreft namelijk de relatie tussen de effecten van nanodeeltjes en de ecological traits van soorten die aan de deeltjes worden blootgesteld. Daarnaast doen we systematisch onderzoek naar de invloed van deeltjeseigenschappen op de toxiciteit van de deeltjes, en kijken we ook nog hoe het medium waarin de blootstelling plaats vindt, het gedrag en de effecten van nanodeeltjes in het milieu modificeert. Factoren als pH en het gehalte aan complexerend organisch koolstof zijn hierbij van belang. De uiteindelijke doelstelling is om te komen tot QSAR's waarmee op basis van eigenschappen van de deeltjes, de effecten kunnen worden berekend. Eigenschappen als grootte van de deeltjes, hun specifiek oppervlak, en de samenstelling van de buitenkant van de deeltjes worden momenteel gezien als de belangrijkste factoren in dit verband.

Het specifieke aan nanodeeltjes is dat ze ontzettend klein zijn en daardoor eigenschappen hebben die afwijken van de eigenschappen van de stoffen waar we normaliter mee omgaan. Om een vergelijking te maken: waar we werken met nanodeeltjes die meestal tussen de 5 en 100 nm groot zijn, is een mensenhaar 50.000 nm dik! Maar ook nanodeeltjes zijn gewoon chemische stoffen en voor chemische stoffen geldt onverkort het basisparadigma van de risicobeoordeling dat verhouding tussen gehalten in het milieu en de veelal in het laboratorium vastgestelde effectgehalten, een geschikte maat is voor de grootte van het risico. Echter, anders dan voor traditionele chemische

stoffen, geldt bij nanodeeltjes dat deze verhouding lastig is vast te stellen, omdat concentraties van nanodeeltjes lastig zijn te meten. Veilige concentratieniveaus kunnen daarom niet makkelijk worden bepaald en ook de feitelijke blootstellingconcentraties kunnen nauwelijks worden geschat. Dat komt omdat nanodeeltjes, anders dan de gewone chemische stoffen, geen enkelvoudige opgeloste moleculen zijn, maar partikelletjes van vaste stof. De verspreiding van (nano)deeltjes in het milieu, de opname ervan door organismen en de routes waarlangs toxische effecten ervan tot stand komen, zijn fundamenteel anders dan de processen die we kennen voor de traditionele chemische stoffen waarvoor risicobeoordelingmethoden zijn ontwikkeld. Nanodeeltjes verschillen in hun verspreiding en toxicologie ook van de traditionele natuurlijke en synthetische vaste stoffen, zoals die in het milieu voorkomen. Door hun geringe afmetingen kunnen nanodeeltjes van een stof zelfs sterk in eigenschappen verschillen van grotere deeltjes van dezelfde chemische samenstelling. Dat komt omdat bij heel kleine deeltjes een groter deel van de moleculen waaruit de vaste stof bestaat aan de buitenkant van het deeltje zitten. Hierdoor zijn de fysische en chemische eigenschappen van nanodeeltjes veelal anders dan de eigenschappen van de overeenkomstige “bulk”-vorm van deze stoffen. De belangrijkste karakteristiek is dat nanodeeltjes de neiging hebben om interacties aan te gaan met hun omgeving. Nanodeeltjes sorberen dan ook sterk aan vaste materialen zoals sediment en grond, en aan in het water en in lucht zwevende deeltjes. Daarnaast vormen ze in water complexen met opgelost organisch materiaal en hebben ze in alle compartimenten de sterke neiging tot aggregatie en zelfs agglomeratie tot grote aggregaten en agglomeraten die zich in dynamisch evenwicht met hun omgeving bevinden. Dit fundamenteel andere gedrag van nanodeeltjes heeft niet alleen als gevolg dat ook de effectieve blootstelling en dus ook de effecten anders zijn dan van de bulkvormen, ook is het de vraag in welke eenheid de risico's uitgedrukt dienen te worden. Duidelijk is dat het uitdrukken van de risico's in eenheden van gram per liter water of gram per kilogram grond niet gaat werken. De onderzoeksvraag van AIO Jing Hua is dan ook wat

een betere beschrijving van de effectieve dosis van nanomaterialen is.

Uitdagingen

Ik hoop dat ik u in het voorafgaande duidelijk heb kunnen maken dat de relatie tussen milieutoxiciteit en biodiversiteit complex is. Als we het hebben over het vaststellen van de remmende effecten van stoffen op een duurzaam ontwikkeling van onze planeet en op een gezonde leefomgeving, dan zijn er nog meer dan voldoende elementen die in de vorm van onderzoeksuitdagingen met elkaar verbonden dienen te worden. Voortbordurend op het vroegere preventieve milieubeleid ligt op dit moment nog steeds nadruk op het evidence based grenzen stellen aan belastingen en risico's van stoffen en andere stressoren. Toch zien we in de samenleving dat de echte oplossingen voor het milieu in veel gevallen niet alléén komen door grenzen te stellen, maar door effectieve vervangingen door te voeren (denk aan het uitbannen van de schuimende wasverzachters, de ban van de ozonlaag aantastende drijfgassen, lood in benzine), door verbetering en vernieuwing van productieprocessen (bijvoorbeeld: schonere en energiezuinige motoren), en door het streven naar het sluiten van kringlopen (denk aan het Cradle to Cradle principe waarbij afvalstoffen weer als grondstoffen gebruikt worden, oftewel: permanente recycling) en alternatieve (energie)bronnen. In alle gevallen betekent dit dat innovatieve oplossingen bedacht zijn of bedacht moeten worden, waarbij de kennis die we tot op heden hebben opgedaan een belangrijke rol speelt.

Ook zullen we flexibel moeten leren omgaan met steeds weer opdoemende nieuwe bedreigingen (zoals de invloed van klimaatverandering die we steeds meer gaan voelen), met de verdergaande technologische vernieuwingen die veelal plaatsvinden zonder veel oog voor de bijbehorende risico's voor mens en milieu. Ook zullen duurzaamheidsconcepten concreet ingevuld moeten gaan worden, inclusief aandacht voor de rol van chemische stoffen in relatie tot andere milieustressoren, en worden de eisen die we stellen aan een gezonde leefomgeving steeds stringenter. In dit verband zal ook het begrip bioba-

sed economy (ook wel groene economie genoemd) verder uitgewerkt dienen te worden. Biobased economy betekent dat de meeste van de grondstoffen die we gebruiken en die thans een fossiele of minerale oorsprong hebben (zoals olie, gas of mineralen uit mijnbouw) straks een biologische basis moeten krijgen. Dit alleen al omdat de natuurlijke voorraden aan olie en gas en een aantal mineralen op een gegeven moment op zijn. Ook voor REACH zou groene economie een rol kunnen spelen bij het vervangen van de meest kwalijke REACH stoffen door andere, groene(re), alternatieven.

Daarnaast is er de maatschappelijke noodzaak van geïntegreerde benaderingen waarbij socio-economische aspecten in toenemende mate worden geïntegreerd met de risicobenadering. Dit betekent dat een geïntegreerd en anticiperend beleid voor onze leefomgeving nodig is dat zich, al was het alleen maar om economische redenen, richt op reductie van daadwerkelijke effecten en niet zozeer op het beheersen van potentiële effecten. Een anticiperend risicobeleid betekent bijvoorbeeld ook dat analoog aan hetgeen op dit moment gebeurt met nanodeeltjes, al op voorhand de effecten van stoffen in het milieu gemodelleerd moeten worden; als het ware nog op de tekentafel van de chemisch technoloog. Ontwikkeling van modellen voor het voorspellen van het lot en de effecten van stoffen op basis van de chemische structuur blijft dan ook een uitdaging, zeker gelet op de snelle ontwikkeling van de vakgebieden van de chemoinformatica en van de “omics” (genomics, proteomics, etc.) waarbij in korte tijd enorme hoeveelheden data op allerlei organisatie-niveaus van beesten, planten en mensen gegenereerd kunnen worden. Echter, zelfs dan zullen er altijd verrassingen optreden zoals voorbeelden uit het verleden hebben geleerd. Denk aan DDT, freonen, etc. Gelet op het feit dat de dominantie van economische groeiscenario's tegenwoordig niet meer vanzelfsprekend is, en omdat het begrip responsible care steeds meer ingeburgerd raakt, liggen hier overduidelijk mooie kansen om deze verrassingen zo klein mogelijk te maken. Als je in staat bent om de elementen te verbinden die samen tot deze verrassingen leiden, dan ben je ook in staat om na te denken

over duurzame alternatieven en voorkom je maatschappelijke commotie rond nieuwe risico's zoals het geval is geweest met de aanpak van tsunami's, de Mexicaanse griep, Q-koorts, en grote branden zoals onlangs in Moerdijk. Op zulke momenten verwachten we dat de overheid klaar staat om niet alleen de burgers te informeren, maar ook om daadwerkelijk actie te ondernemen om de risico's te minimaliseren. Echter, we moeten ons realiseren dat dit alleen kan als in de breedte de onderliggende kennis en het benodigde netwerk voorhanden is en blijft om in geval van urgente vragen op korte termijn met antwoorden te komen. Hoe snel kunnen we bijvoorbeeld vragen beantwoorden over de risico's van “nieuwe” metalen zoals neodymium, germanium, tantalum, en de zeldzame aarden in het algemeen: stuk voor stuk metalen die essentieel zijn in een toenemend aantal toepassingen die gerelateerd zijn aan de verdere opmars van de micro-electronica. In zijn algemeenheid valt in dit verband te constateren dat de aandacht voor effecten van nieuwe milieubedreigingen op en binnen onze leefomgeving, sterk achter loopt op de technologische ontwikkelingen. Daar waar technologen bezig zijn met de 3^e en 4^e generatie van nanomaterialen, is het risico-onderzoek nog niet verder gekomen dan de 1^e generatie en hebben we al genoeg moeite om de risico's van stoffen zoals nanotitaniumdioxide, ceriumoxide, en nanozilver te kwantificeren. Dit terwijl de industrie werkt aan de ontwikkeling van zelfassemblerende structuren en toepassingen die langzaam aan steeds beter in staat zijn om de werking van het menselijk brein te simuleren.

Mijnheer de rector magnificus, zeer gewaardeerde toehoorders, over uw hoofden heen wil ik in dit verband van de gelegenheid gebruik maken om een kort advies te geven over duurzaamheid als onderzoeksthema voor het RIVM. Vaak hoor je namelijk dat duurzaamheid geen issue is voor het RIVM. Ik zou echter zeggen dat het mandaat voor dit onderwerp, zeker voor wat betreft het domein milieu en gezondheid, juist bij het RIVM zou moeten liggen. Immers, allerlei stressoren voor mens en milieu en de interacties tussen deze stressoren spelen een belangrijke rol bij de uitwerking van het onderwerp duur-

zaamheid binnen een beleidsomgeving die duidelijk zoekende is naar manieren om invulling te geven aan het duurzaamheidsbeleid. Invulling van het begrip duurzaamheid vereist de integratie van de drie zeer uiteenlopende P's van People, Planet en Profits. Integratie van verschillende unieke disciplines is één van de kerncompetenties van het RIVM. Ik adviseer dan ook om deze kans niet verloren te laten gaan. De leerstoel Milieutoxiciteit en Biodiversiteit die is ingesteld bij het Centrum van Milieuwetenschappen van de Universiteit Leiden (CML) op gezamenlijk initiatief van de Universiteit Leiden en het RIVM kan hierbij een grote rol spelen. De structurele samenwerking, waarbij wetenschappelijke vragen rond stoffen, duurzaamheid en biodiversiteit bijeenkomen, is voor beide onderzoeksinstellingen buitengewoon nuttig. Zoals al eerder gezegd gaat het milieubeleid immers meer en meer in de richting van de integrale beoordeling van bedreigingen van het functioneren en de samenstelling van ecosystemen. Dat wil onder meer zeggen dat de invloed van verontreinigende stoffen wordt bekeken in relatie tot andere bedreigingen. De Universiteit Leiden profiteert hierbij van de mogelijkheid om resultaten van wetenschappelijk biodiversiteitsonderzoek direct toegankelijk te maken voor implementatie in (Europese) regelgeving, voor het RIVM biedt de leerstoel een ingang tot een boeiend veld van innovatief wetenschappelijk onderzoek op het gebied van duurzaamheid en biodiversiteit. Daarnaast profiteren beide instellingen van elkaars uitgebreide kennisnetwerk.

Dankwoord

Meneer de rector, dames en heren, alhoewel me op het hart gedrukt is om het dankwoord zo kort mogelijk te houden, wil ik aan het einde van mijn betoog toch van de gelegenheid gebruik maken om een paar woorden van dank uit te spreken. Het spreekt voor zich dat dit voor mij persoonlijk een bijzondere gebeurtenis is. Ik ben blij en trots met deze benoeming, niet alleen omdat ik het een uitdaging vind om in een universitaire setting onderzoek te doen aan onderwerpen waar mijn belangstelling naar uitgaat. Ook ben ik blij voor de kansen die geboden worden om onderzoeksresultaten te vertalen naar

maatschappelijk relevante vraagstukken. Daarnaast is en blijft het een uitdaging om met jonge, gemotiveerde, onderzoekers in spé te kunnen werken. Ik dank de leiding van het RIVM dan ook voor het instellen van deze leerstoel en voor het vertrouwen dat in mij is gesteld. In het bijzonder denk ik hierbij aan Ton Breure en Reinout Woittiez: zij waren het die samen met Geert de Snoo de instelling van de leerstoel hebben voorbereid, en ook Geert wil ik hiervoor van harte bedanken. Natuurlijk kan ik niet voorbijgaan aan Martina Vijver, mijn wetenschappelijke maatje. We zijn zonder twijfel het schoolvoorbeeld van tegengestelde karakters die elkaar effectief aanvullen.

Nu ik hier sta besef ik ook dat dit alleen kan dankzij degenen die mij het meest nabij zijn: mijn ouders die altijd trots op me zijn geweest en dat ook nog steeds zijn. En dat geldt zeker ook voor mijn broer en zus en Josje en Tim. En last but not least ook voor Leanne, steun en toeverlaat en altijd daar waar ik je nodig heb.

Ik heb gezegd.

PROF.DR.IR. W.J.G.M. (WILLIE) PEIJNENBURG (1959)



Willie Peijnenburg studeerde chemie aan de Technische Universiteit Eindhoven en promoveerde aan deze universiteit in 1988. Sindsdien is hij werkzaam als senior onderzoeker bij het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM). Zijn onderzoeksinteresses liggen op het gebied van de interacties van planten en dieren met het abiotische milieu en de daaruit voortvloeiende effecten voor de leefomgeving en de biodiversiteit binnen ecosystemen. Bijzondere interesse gaat uit naar de implementatie van onderzoeksresultaten in (milieu)beleid. In lijn met het streven naar een optimaal gebruik van gegevens over het gedrag en de effecten van stoffen voor risicobeoordeling, richt het onderzoek zich

op het ontwikkelen van voorspellende modellen die direct implementeerbaar zijn in (Europese) risicobeoordeling. In 2009 werd hij benoemd tot bijzonder hoogleraar Environmental Toxicology and Biodiversity bij het Centrum voor Milieuwetenschappen Leiden (CML). Binnen de leerstoel komen wetenschappelijke vragen rond stoffen, duurzaamheid en biodiversiteit bijeen, met nadruk op de integrale beoordeling van bedreigingen van het functioneren en de samenstelling van ecosystemen. Dat wil onder meer zeggen dat de invloed van verontreinigende stoffen wordt bekeken in relatie tot andere bedreigingen, zoals klimaatgerelateerde stressoren, straling, licht, geluid.



Universiteit Leiden