

# Voor een gezonde leefomgeving

INAUGURELE REDE DOOR PROF. DR. A.M. (TON) BREURE



Radboud Universiteit Nijmegen



## INAUGURELE REDE

PROF. DR. A.M. (TON) BREURE



De kwaliteit van de leefomgeving van mensen wordt voor een groot deel bepaald door de processen die planten, dieren en micro-organismen gezamenlijk uitvoeren. Menselijk handelen heeft invloed op de biodiversiteit van de organismen die met de mens de aarde bewonen en daarmee op de door hen uitgevoerde processen.

Ecologische risicobeoordeling richt zich op de inschatting van de ernst van de schade die wordt aangericht aan planten, dieren en micro-organismen door menselijk ingrijpen in de vorm van verontreiniging of andere fysieke verandering van het milieu. In deze rede geeft Ton Breure aan welke functies organismen uitvoeren en welk type onderzoek zal worden gedaan om de risicobeoordeling beter onderbouwd te kunnen doen.

Prof. dr. A.M. (Ton) Breure is sinds 1 november 2007 bijzonder hoogleraar bij de vakgroep Milieukunde van de Faculteit der Natuurwetenschappen, Wiskunde en Informatica, met als leeropdracht Ecologische risicobeoordeling. Daarnaast is hij hoofd van het Laboratorium voor Ecologische Risicobeoordeling van het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM) in Bilthoven.

VOOR EEN GEZONDE LEEFOMGEVING



## **Voor een gezonde leefomgeving**

*Rede uitgesproken bij de aanvaarding van het ambt van bijzonder hoogleraar Ecologische risicobeoordeling aan de Faculteit der Natuurwetenschappen, Wiskunde en Informatica van de Radboud Universiteit Nijmegen op donderdag 2 oktober 2008*

**door prof. dr. A.M. (Ton) Breure**

Vormgeving en opmaak: Nies en Partners bno, Nijmegen  
Fotografie omslag: Bert Beelen  
Drukwerk: Thieme MediaCenter Nijmegen

ISBN 978-90-9023795-4

© Prof. dr. A.M. (Ton) Breure, Nijmegen, 2008

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar worden gemaakt middels druk, fotokopie, microfilm, geluidsband of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de copyrighthouder.

## VOOR EEN GEZONDE LEEFOMGEVING

*Mijnheer de rector magnificus, geachte collega's, familie, vrienden en andere belangstellenden*

De mensheid leeft op deze aarde samen met planten, dieren en micro-organismen. Die organismen om ons heen zijn geen toevallige medebewoners van de ruimte op aarde. Samen met de niet-levende componenten rondom ons vormen zij onze leefomgeving. Zonder hen kan de mensheid niet overleven. Hun gezamenlijke activiteit bepaalt voor het grootste deel de kwaliteit van onze leefomgeving. Als de kwaliteit van de leefomgeving goed en gezond is, kan daarin een gezonde mensheid bestaan.

## INLEIDING

Deze rede wordt uitgesproken ter gelegenheid van de aanvaarding van de leeropdracht Ecologische risicobeoordeling. Deze leeropdracht wordt uitgevoerd bij de vakgroep Milieukunde van de Radboud Universiteit.

In de komende 45 minuten zal ik trachten u inzicht te geven in wat ik versta onder ecologische risicobeoordeling, waarom dat vakgebied belangrijk is en wat wij in het samenwerkingsverband van de Radboud Universiteit en het RIVM gaan doen om dit vakgebied verder te ontwikkelen.

De leeropdracht heeft tot doel om onderzoek te doen en onderwijs te geven op het gebied van de risico's voor de integriteit<sup>1</sup> van ecosystemen door verontreiniging en andere menselijke ingrepen in het milieu. Binnen onze activiteiten willen we een bijdrage leveren aan de ontwikkeling van gereedschappen en werkwijzen voor de wetenschappelijke onderbouwing van de oplossing van milieuvraagstukken. Daarmee willen we ook deze subdiscipline versterken binnen de milieukunde.

Naast het ontwikkelen van gereedschappen willen we ons ook richten op de ontwikkeling van meer fundamentele inzichten voor de onderbouwing van het milieubeleid. We willen mensen opleiden, die nodig zijn voor de uitvoering van taken binnen het stoffenbeleid (REACH, Registratie, Evaluatie en Autorisatie van Chemische stoffen) (EP 2006), het waterbeleid (KRW, Kader Richtlijn Water) (EC 2000) en het Bodembeleid (EBS, Europese Bodem Strategie) (EC 2006). En natuurlijk, en dat is zeker niet de minst belangrijke reden voor de instelling van de leeropdracht, willen we de samenwerking tussen de universiteit en het RIVM versterken.

## WAT IS ECOLOGISCHE RISICOBEOORDELING?

Ecologische risicobeoordeling bevat drie termen die mogelijk om een nadere uitleg vragen.

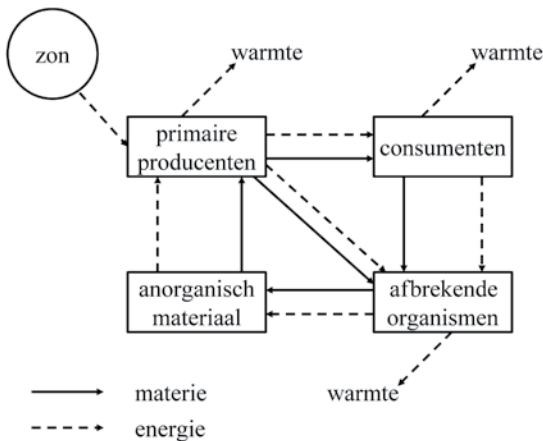
### Ecologie

Ecologie als wetenschap is een onderdeel van de biologie. De ecologie bestudeert de verspreiding van organismen, de dynamiek van de wisselwerking tussen organismen (voortplantingsgedrag, competitie, wie eet wie?) en de relaties tussen organismen en de niet-biologische omgeving (welke eisen stellen organismen aan hun leefomgeving en welke invloed hebben ze op hun omgeving?).

Het woord Ökologie werd geïntroduceerd door de Duitse bioloog Ernst Hæckel in 1866, als samentrekking van de Griekse woorden oikos (huishouding) en logos (wetenschap). Hæckel was een supporter van Charles Darwin, die de interacties tussen organismen eerder had beschreven in zijn beroemde boek over natuurlijke selectie, waarin hij aannemelijk maakte hoe de wisselwerkingen en competitie van en tussen organismen zo'n belangrijke rol spelen in de evolutie (Darwin, 1859).

Ecologie moet niet verward worden met 'economie', ontstaan uit het Griekse oikonomia: huishoudkunde, waarbij het gaat over de omgang met schaarse hulpmiddelen.

Onze leefomgeving kunnen wij zien als een ecosysteem, de ruimte om ons heen met bodem, water en lucht, met daarin planten, dieren, micro-organismen en niet-levende bestanddelen. In mijn vakgebied gaat het over de wederzijdse beïnvloeding van de levende en dode componenten in ecosystemen (figuur 1). Een ecosysteem kan worden gezien als een systeem waarbinnen energie en materie worden uitgewisseld tussen de aanwezige organismen op verschillende trofische (voedsel)niveaus en met de abiotische (niet-levende) omgeving.



Figuur 1: Schematische voorstelling van een ecosysteem, een systeem waarbinnen energie en materie worden uitgewisseld tussen planten, dieren, en micro-organismen en met de abiotische omgeving.



Door de uitwisseling van materie en energie verloopt een groot aantal processen, dat van belang is voor het op lange termijn gezond houden van onze leefomgeving.

De energie voor alle processen die plaatsvinden op de aarde komt van de zon. De energie van de zon wordt ingevangen door de primaire producenten – planten en algen – die met behulp van anorganisch, niet-levend, materiaal, nieuwe biomassa vormen: ze groeien. Een deel van de zonne-energie wordt vastgelegd in planten- en algenmateriaal, een deel wordt uitgestoten als warmte. De planten en algen worden opgegeten door consumenten – herbivoren (plantenetters) – die daar met een bepaalde efficiëntie op groeien. De plantenetters worden gegeten door carnivoren (vleeseters) en uiteindelijk sterven de organismen en wordt de organische stof weer afgebroken door afbrekende organismen – aaseters, bacteriën, schimmels – tot anorganisch (dood) materiaal en kan de hele cyclus weer opnieuw beginnen. In essentie zitten hierin ook alle elementcycli, zoals de koolstofcyclus, de stikstofcyclus en bijvoorbeeld de zwavelcyclus. Zolang de zon blijft schijnen en de omstandigheden voor de organismen in dit schema voldoende optimaal zijn, kan onze leefomgeving in stand blijven.

#### *Risico*

Risico is een moeilijk begrip. De Dikke van Dale omschrijft het als: 'gevaar voor schade of verlies, de gevaarlijke of kwade kans of kansen die zich bij iets voordoen'. Gaat het speciaal om het milieu, dan hebben verschillende commissies van vooraanstaande wetenschappers geprobeerd een sluitende definitie van het begrip risico te formuleren. Zo omschreef de Gezondheidsraad het in haar advies van 1995 als: 'de mogelijkheid, met een zekere mate van waarschijnlijkheid, van schade aan de gezondheid van mens, aan het milieu en aan goederen, in combinatie met aard en omvang van die schade' (Gezondheidsraad, 1995).

Eenvoudiger gezegd: risico is een product van kans en effect. Even een eenvoudig voorbeeld: als je een weg oversteeft, loop je een kans dat je wordt aangereden en gewond raakt. In dit voorbeeld is het effect dat je gewond raakt. Het risico dat je wordt aangereden door een auto is de kans dat je wordt aangereden door een auto als je één keer oversteeft maal het aantal keren dat je oversteeft maal het effect, namelijk dat je gewond raakt. Als de kans gelijk is, maar het effect groter, bijvoorbeeld dat je dood gaat, is het risico groter. In beide gevallen geldt: als je nooit oversteeft, is het risico afwezig en als je heel vaak oversteeft, is het risico groot.

In ecosystemen ligt het ook zo: als een organisme wordt blootgesteld aan een giftige stof is er een kans dat hij schade oploopt of ziek wordt. Een risico is groot als de kans op blootstelling groot is, of als het effect van de blootstelling groot is.

#### *Beoordeling*

Risicobeoordeling is het wegen of een risico erg of minder erg is, of een risico aanvaardbaar of onaanvaardbaar is. Is het erg dat er een kans bestaat dat een organisme hinder

ondervindt of schade oploopt of zelfs (uit)sterft door de aanwezigheid van een verontreiniging of is dat aanvaardbaar? Of is het pas erg als tien organismen of honderd organismen een dergelijke kans lopen? En maakt het dan ook nog uit welke organismen een dergelijke kans lopen?

Beoordeling is een politieke activiteit. Wat wij binnen het vakgebied doen, is het aandragen van argumenten op basis waarvan het beleid en beheer hun keuzen kunnen maken.

Opgeteld is ecologische risicobeoordeling dus de beoordeling van risico's voor de ecologie en voor ecosystemen.

#### BELANG VAN HET VAKGEBIED

Het vakgebied adresseert een maatschappelijk vraagstuk: hoe kan vanuit een risicobenadering goed milieubeleid worden gevoerd? Eind jaren tachtig van de vorige eeuw is de risicobenadering geadopteerd in het milieubeleid en is aangegeven wat de bescherm-doelen van het beleid zijn. Dat is de bescherming van de milieukwaliteit door het voorkómen van aantasting van ecosystemen, vanwege de functies van ecosystemen voor de mensheid.

Binnen het vakgebied, zoals wij dat hier verder willen ontwikkelen, moet op basis van ecologische inzichten de risicobeoordeling veel beter dan op dit moment worden onderbouwd vanuit een ecologisch perspectief. De uitgangspunten bij dat beleid zijn dat een handeling is toegestaan, als het risico van de handeling op ecologische processen en functies voldoende klein is. Het resultaat van het vakgebied zal moeten zijn het geven van handelingsperspectieven (keuzemogelijkheden) bij het omgaan met het milieu en de leefomgeving: wat kan er wel, gegeven de huidige toestand en de mogelijke ingrepen, en wat kan er niet?

De risicobenadering richt zich op het voorkómen van ecosysteemschade langs twee sporen: een brongericht beleid, waarbij onnodige verontreiniging van het milieu wordt voorkomen, en een effectgericht beleid, gericht op verwaarloosbare risico's op nadelige effecten voor mensen, planten en dieren. Daarnaast richt het beleid zich op het wegnemen van de schade die al is aangericht.

Voorkomen van aantasting gebeurt door bijvoorbeeld vergunningverlening en normstelling. Hier speelt bijvoorbeeld het Europese beleid gericht op het toelaten van stoffen op de markt (REACH) een rol, maar ook de bouw van rioolwaterzuiveringsinstallaties. Een voorbeeld van het wegnemen van de schade die al was aangericht is de bodemsaneringsoperatie, waarbij de reeds verontreinigde bodem wordt schoongemaakt.

#### BESCHERMDOELEN VAN DE ECOLOGISCHE RISICOBEOORDELING

Het eerste en belangrijkste beschermdoel bij ecologische risicobeoordeling is de intrinsieke (fundamentele) waarde van organismen en ecosystemen. Het gaat dan om het ethische en religieuze belang dat gehecht wordt aan de diversiteit van de schepping. In

het CDA wordt dan gesproken van 'goed rentmeesterschap'. Dit doel is onomstreden en is ook een van de basisredenen van het natuurbeleid. Binnen dit beleid is de bescherming van specifieke soorten, bijvoorbeeld de rode-lijstsoorten, een belangrijk doel.

Ik aanvaard echter geen leeropdracht in natuurbescherming of natuurbeleid, maar een leeropdracht op het gebied van milieukunde. Binnen het milieubeleid zijn juist de functionele aspecten van ecologie belangrijk. Ecosystemen hebben een groot aantal functies en binnen die ecosystemen vinden processen plaats, die van groot belang zijn voor het bewoonbaar houden van de aarde. Deze processen worden voor een belangrijk deel uitgevoerd door organismen.

De functies waar we over spreken, kunnen worden onderverdeeld in drie groepen: de informatiefuncties, de productiefuncties en de regulatie- en bufferfuncties. Hieronder worden die groepen van functies verder toegelicht (EC 1998).

#### *Informatiefuncties*

Aspecten van de informatiefuncties zijn:

- de esthetische waarde: de natuur is mooi en daar kun je van genieten;
- ecosystemen hebben een educatieve en wetenschappelijke waarde. De natuur kan oplossingen bieden voor technologische en maatschappelijke vraagstukken. Hoe heeft de natuur een probleem opgelost? We zijn als mensheid nog steeds aan het uitzoeken hoe we vezels kunnen maken die net zo sterk zijn als de draad van een spinnenweb. Dat onderzoek heeft al verschillende sterke weefsels opgeleverd, maar spinnenwebdraad kunnen we nog steeds niet maken. Ook kunstzijde is nog lang niet van de kwaliteit van echte zijde.  
Een ander voorbeeld is de oplossing van het klimaatprobleem. We verstoken onze voorraden fossiele brandstof, omdat we niet in staat zijn om de energie die de zon produceert, en die meer dan voldoende zou zijn om in onze totale energiebehoefte te voorzien, efficiënt te gebruiken. Hoe doen planten en algen dat? Onderzoek aan het fotosysteem van planten en algen is van groot belang voor de ontwikkeling van zonnecellen.
- Ecosystemen hebben ook een oriëntatiefunctie: waar ben ik eigenlijk? En in welk jaargetijde zit ik nu?
- Tenslotte is daar de signaalfunctie: als er plotseling veranderingen in de omgeving optreden, dan zou dat wel eens iets kunnen betekenen voor ons handelen. Veranderingen in de soortensamenstelling van planten en dieren leveren indicaties van veranderingen van de leefomgeving.

#### *Productiefuncties*

Een tweede belangrijke groep functies van ecosystemen zijn de productiefuncties. Daarbij kan op de eerste plaats gedacht worden aan de productie van voedsel (agrarische productie, vis), maar ook aan de productie van vezels en bouwmaterialen. We maken

uitgebreid gebruik van de houtproductie en we oogsten andere producten uit de natuur als bijvoorbeeld rubber, kalk (schelpen), oesterzaad et cetera. Ook in verband met onze energiebehoefte zijn we afhankelijk van de natuur. De fossiele brandstoffen zijn allemaal opgebouwd uit gefossiliseerd organisch materiaal: planten, dieren en micro-organismen. Verder hebben er ook organismen aan bijgedragen, dat het dode organisch materiaal uiteindelijk is vastgelegd als steenkool, aardolie en aardgas. De vorming daarvan is voor een belangrijk deel een biologisch proces.

Tenslotte levert de natuur een grote genenvoorraad, waarvan uitgebreid gebruik gemaakt wordt in de biotechnologie en farmaceutische industrie. De enzymen in wasmiddelen worden bijvoorbeeld geproduceerd door schimmels en bacteriën, die via genetische modificatie genen ingepland gekregen hebben voor de productie van dergelijke enzymen. Die genen waren afkomstig van bacteriën die gewend zijn te groeien bij hoge temperaturen, bijvoorbeeld in de buurt van geisers en vulkanen. Daarom werken ze ook goed bij de verhoogde temperaturen in een wasmachine.

#### *Regulatie- of bufferfuncties*

Een derde belangrijke groep functies bestaat uit de regulatie- en bufferfuncties. Deze functies hebben nauw te maken met het leefbaar houden van onze aarde. Hieronder vallen de bijdragen aan de cycli die plaatsvinden in de natuur, zoals de koolstofcyclus, waarin  $\text{CO}_2$  wordt vastgelegd in plantenmateriaal, de afbraak van organische stof, de opbouw van organische stof in de bodem – belangrijk voor bodemvruchtbaarheid en de waterhuishouding in de bodem. Een andere belangrijke functie is de bestuiving van planten. De achteruitgang van vlinders is niet alleen een probleem vanwege de esthetische waarde van die dieren, maar veel belangrijker is, dat daardoor bepaalde planten niet meer worden bestoven en in hun voortbestaan worden bedreigd (Mulder et al. 2005). De productie van fruit is niet mogelijk als er geen bestuivende insecten zijn. In de natuur blijkt ieder bestuivend insect maar een heel kleine range te hebben van planten die hij kan bestuiven, zodat een taak bij uitsterven van één soort bestuiver vaak niet kan worden overgenomen door een andere soort.

Een belangrijke functie is de controle over de atmosfeersamenstelling. Alle zuurstof in de atmosfeer komt uiteindelijk van planten en algen (Canfield 2005). Toen die er nog niet waren, bevatte de atmosfeer geen zuurstof. Een mens gebruikt 250 kg zuurstof per jaar. Bij een 100 procent efficiency van de fotosynthese komt dat overeen met de productie van 250 kg droog hout. Daarnaast gebruiken ook alle dieren zuurstof en vereist de verbranding van energiedragers als steenkool, olie en gas ook zuurstof. Dat moet allemaal weer door planten worden aangevuld, die die productie combineren met het uit de atmosfeer verwijderen van het klimaatgas  $\text{CO}_2$ .

De regulatiefuncties kunnen ook gezien worden als de levensprocessen van moeder aarde die James Lovelock bedoelde in zijn destijds baanbrekende boek *Gaia* (1979), de functies die zorgen voor de instandhouding van onze leefomgeving.

#### GESCHIEDENIS VAN HET MILIEUBELEID

De jaren na de Tweede Wereldoorlog kenmerkten zich door een grote economische en industriële groei. Dat ging gepaard met de productie van veel nieuwe stoffen, die het leven aangenamer maakten en vergemakkelijkten. De voedselproductie steeg door de toepassing van kunstmest en nieuwe, effectieve bestrijdingsmiddelen. Dit ging ook gepaard met de uitstoot van veel afvalstoffen. In de jaren zestig en zeventig van de vorige eeuw resulteerde dat in een grote milieuvervuiling.

Eind jaren vijftig kwamen de eerste wetenschappelijke signalen, dat de ongebreidelde industrialisering en groei van de landbouwproductie en de daarmee gepaard gaande uitstoot van stoffen niet zonder gevolgen was voor de organismen om ons heen. In 1962 publiceerde Rachel Carson *Silent Spring*, over de desastreuze gevolgen van het overmatig gebruik van bestrijdingsmiddelen. Zij legde daarmee een belangrijke eerste steen van het milieubewustzijn bij het grote publiek. Vanuit dat bewustzijn kwam de eerste behoefte op voor het stellen van eisen aan de milieukwaliteit.

De klassieke vormen van milieudruk waaraan gewerkt werd in het milieubeleid zijn:

- Verspreiding van giftige stoffen.
- Vermesting: de toename van de concentratie aan nutriënten (voedingstoffen voor planten, vooral stikstof en fosfaat), voornamelijk door gebruik in de landbouw.
- Verzuring: uitstoot van stikstofoxiden en zwaveloxiden door verbrandingsprocessen en deels ook afkomstig uit de landbouw.
- Verdroging: overmatige onttrekking van grond- en oppervlaktewater, waardoor de grondwaterspiegel daalt en de vegetatie verandert.

Voor de bescherming van de milieukwaliteit zijn milieukwaliteitscriteria opgesteld. Bij de vaststelling van de klassieke milieukwaliteitscriteria was een ontwerpvoorwaarde, dat het milieu schoon en veilig voor mens en andere organismen genoemd kan worden, als werd voldaan aan de voorwaarden. De belangrijkste aannamen bij de afleiding van deze standaarden waren:

- Ieder type milieudruk is uniek en onafhankelijk.
- Er is geen wisselwerking tussen verschillende typen milieudruk.
- Er is geen wisselwerking tussen de organismen die worden beïnvloed.

Een groot aantal omgevingsfactoren en vormen van menselijk handelen die van invloed zijn op de ecosysteemkwaliteit spelen in het milieubeleid nauwelijks een rol. Voorbeelden daarvan zijn:

- afdichting van de bodem;
- erosie;
- veranderend landgebruik;
- aanleg van natuurgebieden;
- kanalisering van rivieren;
- aanleg van overstromingsgebieden;
- woningbouw.

#### VERANDERING VAN DE DOELSTELLINGEN VAN HET MILIEUBELEID

Het milieubeleid was tot eind twintigste eeuw gericht op de bescherming van wat er al aanwezig was in ecosystemen, met daarbij het uitgangspunt dat de milieukwaliteit goed is, als het milieu schoon is. Het beleid omvatte:

- normstelling voor concentraties van stoffen in het milieu op basis van potentiële effecten.
- brongericht beleid, dat wil zeggen voorkomen van nieuwe verontreinigingen.
- schoonmaken wat al verontreinigd was.

Het inzicht groeide dat dit een te beperkte visie op leefomgevingskwaliteit is. Eind jaren tachtig produceerde de commissie Bruntland een rapport, waarin werd gepleit voor een duurzame ontwikkeling: ontwikkeling op een zodanige wijze, dat de mensen elders en de toekomstige generaties van mensen door de huidige ontwikkelingen niet zouden worden beperkt in hun mogelijkheden. (WCED 1987). Dat betekent: geen uitputting van grondstoffen uit de aarde en bij de ontwikkeling van de mensheid geen onherstelbare schade aanbrengen aan het milieu. Dat werd nog eens beschreven in het biodiversiteitsverdrag van Rio de Janeiro in 1992 (UNCED, 1992).

In het begin van de twintigste eeuw zijn deze opvattingen ook neergedaald in het Nederlandse en Europese milieubeleid. Concreet betekent dat een streven naar een optimale ecologische kwaliteit en een duurzaam gebruik van ecosysteemprocessen, dus geen afwenteling naar elders en geen afwenteling naar de toekomst.

#### KENNISLACUNES BIJ HET NIEUWE MILIEUBELEID

Het voorgestelde nieuwe beleid confronteert ons met een aantal kennislacunes, waarmee wij in het samenwerkingsverband tussen RIVM en Radboud Universiteit nog jaren vooruit kunnen. De eerste vragen zijn natuurlijk: wat is een goede ecologische kwaliteit en wat is duurzaam gebruik? Ook hier spelen een aantal beoordelvragen, want er zijn bijvoeglijke naamwoorden als 'goed' en 'duurzaam' gebruikt. Een aantal zaken is wel duidelijk:

- Er moeten inzichten komen om de ecosystemen en ecosysteemdiensten goed te karakteriseren.
- De kwaliteit moet door metingen kunnen worden vastgesteld, of in ieder geval moet zo een indicatie gegeven kunnen worden van de kwaliteit.
- Op een geïntegreerde wijze moet kunnen worden beoordeeld wat de effecten zijn van milieudruk.
- Een geïntegreerde afweging van maatregelen moet kunnen plaatsvinden.

Aan deze vragen gaan wij werken in het samenwerkingsverband van RIVM en Radboud Universiteit.

## KARAKTERISERING VAN ECOSYSTEMEN

Wanneer de kwaliteit van ecosystemen moet worden beoordeeld, moet ook worden gekarakteriseerd om wat voor type ecosysteem het gaat. Is het een water, een wetland of een bodem? Hoe wordt het gebruikt? Ook dient te worden vastgesteld wat de fysisch-chemische kenmerken van het gebied zijn. Hoe zit het met de natuurlijke concentratie van stoffen en hoeveel is door menselijk handelen toegevoegd? Hoe zit het met de beschikbaarheid van water? Daarbij komt ook de biologische karakterisering met betrekking tot het vóórkomen van soorten en het verloop van processen. De karakterisering van een ecosysteem gaat niet alleen uit van een beschrijving, doch ook van metingen in het veld.

In het klassieke beleid wordt de nadruk gelegd op de bescherming van soorten. Vanuit de kennis over hun behoefte aan nutriënten (voedingstoffen) en de giftigheid van stoffen, ligt de nadruk van de meetinspanning op de meting van de concentratie van stoffen. Meer en meer komt het inzicht, dat voor een effectief beleid van die vereenvoudiging moet worden afgezien. Zowel bij water als bij bodem komt in steeds toenemende mate de behoefte aan het meten van de aanwezigheid van organismen in het veld aan de orde. Het uitgangspunt dat alles in orde is als de chemische kwaliteit goed is, blijkt niet houdbaar.

Dit inzicht is ook de basis voor het onderzoek ten behoeve van de ontwikkeling van de bodembioologische indicator, die door de gezamenlijke inspanning van de Wageningen Universiteit en Researchcentrum (WUR) en het RIVM in opdracht van de ministeries van VROM en LNV wordt uitgevoerd. Hierin wordt in een representatieve steekproef van combinaties van grondsoort en landgebruik in Nederland nagegaan hoe de abiotische en biotische kenmerken van de bodem eruit zien (Breure 2005).

## Tekstbox 1

Enige getallen met betrekking tot de biodiversiteit in de bodem

- 0,5 % van het bodemvolume
- < 10 % van de bodemorganische stof
- 10.000 bacteriesoorten per gram bodem
- 1.000.000.000 bacteria per gram bodem
- 10 – 1.000 meter schimmeldraden per gram bodem
- 10 – 100 nematoden per gram bodem
- 100 – 1.000.000 potwormen per m<sup>2</sup>
- tot 100.000 mijten en springstaarten per m<sup>2</sup>
- tot 1.000 regenwormen per m<sup>2</sup>
- tot 5.000 kg levende organismen per hectare
- omzetting van 5000 kg koolstof per hectare per jaar
- omzetting van 100 kg stikstof per hectare per jaar

Om een idee te geven van de biodiversiteit die verantwoordelijk is voor de processen in de bodem zijn enige karakteristieken weergegeven in tekstbox 1. Hierbij komt de vraag naar voren: hoeveel biodiversiteit is nodig om er voor te zorgen, dat de ecologische processen blijven verlopen? En welke biodiversiteit is dat dan?

De gewenste ecologische kwaliteit kan worden afgeleid van de natuurlijke, ongestoorde (pristine) situatie of daar zelfs mee overeenkomen. Vaak zal echter blijken, dat plekken zodanig door mensen zijn beïnvloed, dat een doel dat overeenkomt met een ongestoorde situatie niet reëel is. In die gevallen kan dan een ander doel gesteld worden.

De ecosysteemkwaliteit wordt op verschillende wijzen bepaald (Breure et al. 2005, 2008). Van oudsher door concentraties van stoffen, die getoetst worden op hun giftigheid in ecosystemen. Daarnaast kan de kwaliteit bepaald worden op basis van de soorten-samenstelling. De eerste beschrijvingen van ecologische kwaliteit, gebaseerd op soort-samenstelling van ecosystemen, zijn gemaakt voor aquatische ecosystemen met behulp van het River Invertebrate Prediction and Classification System (RIVPACS) (Wright, 2000). Bij deze benadering wordt de actuele soortensamenstelling vergeleken met de optimale samenstelling, dat wil zeggen de samenstelling in ongestoorde systemen. Zij houdt geen rekening met de interactie tussen verschillende soorten en tussen soorten en de abiotische componenten van het ecosysteem.

De benadering wordt ook in Nederland toegepast voor de beschrijving van een goede ecologische kwaliteit van oppervlaktewater, zoals dat vereist wordt vanuit de Europese regelgeving op het gebied van de waterkwaliteit in de vorm van de Kader Richtlijn Water. Dat heeft geresulteerd in lange lijsten van soorten, die moeten vóórkomen in een ecosysteem met een goede ecologische toestand.

Ook voor de bodem wordt op dit moment gewerkt aan de opstelling van referentie-ecosysteemdeschrijvingen, gebaseerd op veldgegevens die in het kader van de ontwikkeling van de bodembioologische indicator zijn verzameld. (Rutgers et al. 2007).

#### ECOSYSTEEMDIENSTEN

Uit het voorgaande is duidelijk dat zich in een ecosysteem processen afspelen die van nut voor de mens zijn. Vanuit een antropocentrisch wereldbeeld worden dat in het milieubeleid de 'ecosysteemdiensten' genoemd. In het nieuwste milieubeleid wordt gestreefd naar een duurzaam gebruik van de ecosysteemdiensten. Die diensten liggen op het gebied van de klimaatregulatie (bijvoorbeeld CO<sub>2</sub>-vastlegging in planten en algen), de veiligstelling van de grondwaterkwaliteit (reinigend vermogen van de bodem), de bodemvruchtbaarheid (nutriëntcycli en bodemstructuurvorming), regulatie van de atmosfeersamenstelling (vorming van zuurstof) en nog vele andere. Deze ecosysteemdiensten zijn onontbeerlijk voor het overleven van de menselijke soort.

Duurzaam gebruik van ecosysteemdiensten kan ook betekenen 'technologisch' toepassen van diensten. Zeer voor de hand liggend is natuurlijk het gebruik van de bodem voor de landbouw. Het is een van de vormen van ecosysteemgebruik, waarbij iedereen doordrongen is van de functie van onze leefomgeving. Maar ook het reinigend vermogen



van de bodem is een dienst, die op grote schaal al technologisch wordt toegepast. Bij de infiltratie van rivierwater in de duinen voor de productie van schoon drinkwater wordt gebruikgemaakt van het zuiverend vermogen van de bodem. Dit is ook een goed voorbeeld van de ingrijpende gevolgen van een dergelijke toepassing op de kwaliteit van natuur. De waterleidingduinen zijn zowel ondergronds als bovengronds sterk van karakter veranderd door het gebruik van het filterend vermogen van de bodem.

Een ander voorbeeld is de bodemreinigingsoperatie. De infiltratie van elektronen-acceptoren om de activiteit van reinigende bodemorganismen te stimuleren of zelfs het toevoegen van specifieke organismen om de natuurlijke populatie te helpen zijn geen uitzondering. Denk ook bijvoorbeeld eens aan de reiniging van oppervlaktewater met helofytenfilters. Oppervlaktewater wordt in die filters gereinigd door het aanwezige riet en de organismen die daarop groeien.

Het belang van ecosysteemdiensten is afhankelijk van de plaats en de betrokkenen. In een project in de Hoeksche Waard is de chemische en biologische kwaliteit van de bodem gemeten en gekwantificeerd op een viertal akkerbouwbedrijven en vervolgens is samen met de betrokkenen bepaald, hoe de kwaliteit van de ecosysteefuncties gewaardeerd moet worden: welke functie is belangrijk en welke voldoet aan de gestelde eisen (Rutgers 2007)?

Ecologische risicobeoordeling gaat over de inschatting in hoeverre het handelen van de mensheid op biodiversiteit en functioneren van ecosystemen (negatief) beïnvloed worden.

Inmiddels is er ook een tak van wetenschap die de waarde van ecosysteefuncties en -processen in geld probeert uit te drukken. Dit resulteerde in 1997 in een spraakmakend artikel van Costanza en collega's, waarop veel kritiek kwam, maar dat de discussie goed op gang bracht over de waarde, het gebruik en de beschermwaardigheid van onze leefomgeving. Ze berekenden een waarde van de ecosysteemprocessen van ongeveer tweemaal het bruto nationaal product van de hele wereld. Het gaat natuurlijk niet om de exacte waarde, want ook de huidige economische ontwikkelingen tonen aan, dat geldwaarde een betrekkelijk fenomeen is. Wat duidelijk is: het gaat om een groot economisch belang en deze waarde doet niet mee in de waardebepaling van de goederen en diensten op de aarde en staat dus in feite buiten de reguliere economie. Het gebrekkige inzicht in het economisch belang van ecosysteefuncties en -diensten is een groot probleem in de bescherming van ecosystemen (Costanza et al. 1997).

#### KOPPELING BIODIVERSITEIT EN FUNCTIONEREN VAN ECOSYSTEMEN

Tot nu toe hebben wij kwantitatief een aantal structuurkenmerken van ecosystemen gezien en is met die gegevens in combinatie met *expert judgement* een oordeel gegeven over de kwaliteit van de ecosysteemdiensten. De echte uitdaging, waarop wij ons willen richten, is de koppeling van de biodiversiteit aan het functioneren. Wij zijn niet de eersten die het doen, maar wij hebben een aantal voorgangers.

Een integrale benadering van de ecosysteemkwaliteit en de effecten van verschillende vormen van milieudruk daarop begint met een goede beschrijving van het systeem. Eén benadering is om je te concentreren op het voedselweb: wie eet wie en wie eet wat, uitgedrukt in de hoeveelheid energie en voedingsstoffen die tussen de verschillende groepen organismen wordt uitgewisseld, zoals uitgevoerd door Hunt et al. (1987). Zij beschreven het voedselweb van de bodemorganismen in een prairiegrasland, om de productie van mineraal stikstof uit detritus, organisch afval, door die organismen te kunnen berekenen.

In dit model werden groepen organismen en hun omvang onderscheiden en de relaties aangegeven (wie eet hoeveel van wat?) en wat dat oplevert aan doorstroming van stikstof door dat systeem. Voor de omvang van de verschillende soortgroepen werden veldgegevens gebruikt.

Een aantal jaren later is deze aanpak ook toegepast in Nederland door De Ruiter et al. (1993). Deze benadering heeft een gedetailleerde dataset, en dus intensieve monitoring in het veld, met herhaalde metingen in de loop van het jaar.

Inmiddels is het de vraag, of het mogelijk is om stabiele ecosystemen te beschrijven en om aan te geven aan welke kenmerken stabiele ecosystemen voldoen. Een andere vraag is, of het mogelijk is om met geringere meetinspanning te kunnen vaststellen of een systeem stabiel is.

#### NIEUWE VORMEN VAN ECOSYSTEEMBESCHRIJVING EN -BEOORDELING

De eerdergenoemde beschrijvingen van ecosysteemkwaliteit zijn gebaseerd op zeer uitgebreide databestanden en behoeven dure meetactiviteiten in het veld. Binnen de activiteiten van de leeropdracht zal gewerkt worden aan de ontwikkeling van meer geavanceerde criteria voor ecosysteemkwaliteit, gebaseerd op ecologische inzichten en met de behoefte aan een geringere meetinspanning.

Organismen werken samen in een voedselweb waarin iedere trofische laag dient als voedsel voor de volgende trofische laag. De stabiliteit van de uitvoering van de ecologische functies door dat web is afhankelijk van de samenstelling van het web. In een stabiel systeem moeten voedsel en prooien in een bepaalde verhouding aanwezig zijn met de consumerende en afbrekende organismen.

Een benadering voor het afleiden van stabiele soortensamenstellingen in ecosystemen is de beschrijving van die verhoudingen tussen soorten en soortgroepen volgens allometrische inzichten (West en Brown 2005). Daarmee wordt de mate van stabiliteit afgeleid van de aantallen ( $N$ ) en de massa ( $M$ ) van de individuele organismen en daarmee van de totale biomassa ( $N \times M$ ) van soorten en soortgroepen. De verhouding tussen de plaats van een soort in het web en zijn abundantie (hoeveelheid individuen) in aantallen en massa bepalen de stabiliteit van het web. De benadering blijkt toepasbaar in zowel aquatische (water) (Cohen et al. 2003) als terrestrische (bodem) ecosystemen (Mulder et al. 2006; Reuman et al. 2008).

Met deze benadering kunnen criteria voor de stabiliteit en efficiency van een ecosysteem worden afgeleid. Een systeem is onstabiel wanneer er onvoldoende prooi aanwezig is om de predatoren (consumenten) te voeden. Een systeem is inefficiënt als er te veel prooi aanwezig is, want dan wordt de beschikbare prooi niet volledig omgezet. Dat kan dan leiden tot een reservoir van stoffen (opslag van organisch materiaal, vanwege de afwezigheid van prederende of afbrekende organismen.)

Ook hiermee kunnen berekeningen gemaakt worden voor fluxen van energie en stoffen door het systeem, waardoor verschillende systemen (bijvoorbeeld verschillende boerderijen of (natuur)gebieden) met elkaar kunnen worden vergeleken voor wat betreft de efficiëntie van ecosystemen.

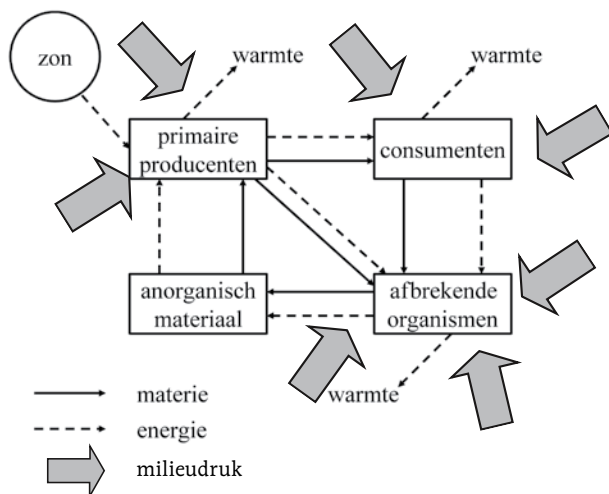
Op een juiste wijze gedefinieerde criteria voor stabiliteit en efficiency voor ecosystemen en voedselwebben maken het mogelijk een beschrijving te maken van een 'goede ecologische toestand' (noodzakelijk voor de Kader Richtlijn Water) en 'duurzaam gebruik van ecosysteemprocessen' (noodzakelijk voor de Europese Bodem Strategie) op een gebruiksklare wijze. Dit is een lijn die wij in het onderzoek verder willen voortzetten.

#### INTEGRALE BEOORDELING VAN MILIEUDRUK

Wanneer een goede beschrijving van ecosystemen gemaakt kan worden, is de volgende stap dat de gecombineerde effecten van verschillende typen milieudruk daarop in beeld moeten worden gebracht, om de invloed daarvan te kunnen schatten. Dit is de vraagstelling die prof. Van Straalen in mijn ogen adresseerde in zijn artikel in *Environmental Science and Technology* in 2003. In het veld is de ecologische kwaliteit het resultaat van alle vormen van milieudruk die daar aanwezig zijn. Daarom zal in eerste instantie een combinatie moeten worden gemaakt van experimentele resultaten met de statistische verwerking van veldgegevens over de aanwezigheid van organismen, gecombineerd met gegevens over chemische en fysische milieukwaliteit. Gecombineerde effecten van verschillende typen milieudruk kunnen worden geanalyseerd met behulp van ecologische inzichten en wiskundige modellen die gebruikmaken van niet-lineaire multiple regressietechnieken.

Multicriteria-analyses en statistische modellen zoals gegeneraliseerde lineaire modellen (GLM) kunnen gebruikt worden om de bijdragen van verschillende vormen van milieudruk in beeld te brengen. De Zwart et al. (2006) hebben dit beschreven op basis van een set monitoringgegevens van de visstand in de rivieren van Ohio, gecombineerd met gegevens over de fysieke ecosysteemkwaliteit.

Hierbij is de RIVPACS-benadering gevolgd, waarbij eerst op basis van uitgebreide monitoring van ongestoorde situaties vastgesteld is wat de soortensamenstelling zou moeten zijn in ongestoorde systemen. Vervolgens konden afwijkingen van die 'ideale situatie' worden toegeschreven aan de bekende milieudruk. Er is hier nog een lange weg te gaan, want meestal kon ongeveer vijftig procent van de oorzaak worden achterhaald (Posthuma en De Zwart 2006). Ook dit is een onderzoekslijn die wij verder willen voortzetten in deze leeropdracht.



Figuur 2: Integrale benadering van milieudruk op een ecosysteem: onderzoek naar de invloed van de gezamenlijke milieudruk (peilen) op het hele ecosysteem.

#### BELANG VOOR STUDENTEN

Studenten kunnen stages uitvoeren in het genoemde veld binnen de onderzoeksprojecten, waarbij zij zich kunnen bekwalen in voedselwebmodellering, multicriteria-analyses van databestanden met ecologische gegevens en ontwikkeling van risicobeoordelingsmethoden. Daarnaast kunnen zij in Bilthoven stages uitvoeren op verwante gebieden, zoals mengseltoxiciteit, biobeschikbaarheid en ontwikkeling van beslissingsondersteunende systemen ten behoeve van het bodem- en waterbeleid.

#### PRODUCTEN VAN HET SAMENWERKINGSVERBAND

De beoogde resultaten van het samenwerkingsverband laten zich samenvatten in de onderstaande lijst:

- Goed opgeleide risicobeoordelaren die ingezet kunnen worden bij de uitvoering van het Europese stoffenbeleid en bij de onderbouwing en uitvoering van het bodem- en waterbeleid van Nederland en de Europese Unie.
- Beter risicobeoordelingsmethoden, waardoor meer afgewogen adviezen over handelingsperspectieven kunnen worden gegeven.
- Beter onderbouwde adviezen over de besteding van milieukosten.
- Beter onderbouwde adviezen over de wijzen waarop ecosystemen duurzaam gebruikt kunnen worden.
- Toegenomen wetenschappelijke inzichten in de gecombineerde effecten van menselijke en natuurlijke ingrepen in ecosystemen.

## DANKWOORD

Dames en heren, ik kom aan het einde van deze voordracht. Zonder iemand tekort te doen wil ik een paar namen noemen van mensen die belangrijk zijn geweest voor mijn ontwikkeling. Dat ik hier nu sta is niet alleen mijn eigen verdienste. Ik realiseer mij dat ik hier ook sta omdat ik zeer inspirerende collega's heb, die zorgen dat mijn geest soepel blijft en steeds gevoed wordt met nieuwe inzichten. Een aantal van deze inzichten heeft u vanmiddag al kunnen vernemen. Ik hoop ook voor de toekomst op een vruchtbare samenwerking.

Ik ben ook dank verschuldigd aan het rivm – vooral de directeur van de sector Milieu en Veiligheid – dat mij de kans geboden is om een samenwerkingsverband met de Radboud Universiteit aan te gaan en in te vullen, en dat mij de mogelijkheid geboden is om deze benoeming te aanvaarden en te combineren met de werkzaamheden in Bilthoven.

Maar ook eerder hebben mensen mij gestimuleerd om mij wetenschappelijk te ontwikkelen. Dr. Ger Groot, destijds promovendus bij de vakgroep Embryologie aan de Universiteit van Amsterdam was mijn leraar biochemie toen ik op de analistenschool zat. Hij maakte mij enthousiast voor zijn vak, later ook mijn hoofdvak op de universiteit, door onder meer de werking van enzymen volgens het sleutel-en-slotprincipe aanschouwelijk te demonstreren met krijtjes, sponzen en bordenwissers.

Dr. Peter Capel, tegenwoordig hoogleraar binnen de medische faculteit in Utrecht was de begeleider van de afstudeerstage van mijn hbo-opleiding bij het Laboratorium voor Immunochemie van het Centraal Laboratorium van de Bloedtransfusiedienst van het Nederlandse Rode Kruis, waar hij als promovendus werkte. Hij liet mij voelen hoe heerlijk het zelfstandig doen van onderzoek is. Hij stimuleerde mij ook om naar de universiteit te gaan.

In het derde jaar van mijn studie scheikunde aan de Universiteit van Amsterdam kreeg ik college en practicum chemische microbiologie van dr. Johan van Aniel. Hij wist mij zo enthousiast te maken voor zijn vak, dat ik in zijn werkgroep zowel mijn bijvak (elf maanden) als mijn promotieonderzoek deed.

Hij was later ook mijn copromotor en degene die mij na mijn promotie uitnodigde om te solliciteren als afvalstoffentechnoloog bij het rivm, waar hij een jaar eerder was gaan werken. In de tijd die wij daarna samenwerkten op het gebied van de milieutechnologie op de afdeling Biotechnologisch Onderzoek van het Laboratorium voor Afvalstoffen en Emissies had hij al een duidelijke visie op ecosysteemdiensten. Als hij weer vond dat de leiding van het rivm zich te zeer bemoeide met het onderzoek kwam zijn verzuchting: "Als je iedere week je tuintje harkt, komt er nooit iets op."

Op een bepaald moment had het management van het rivm zozeer geharkt en geschoffeld in mijn toenmalige werkgebied, dat er niets meer over was en via een grote reorganisatie kwam ik op een andere afdeling bij het rivm terecht onder leiding van professor Herman Eijsackers, thans werkzaam bij de wur, die mij op het spoor van de biodiversiteit en de ecologie heeft gezet. Samen met hem en met onder meer dr. Dick

Verkaar, destijds van de wur maar nu een collega bij het rívm, heb ik mijn eerste rapport over dat onderwerp geschreven (Breure et al 1996).

Mijn ouders hebben mij altijd mijn eigen studiekeuze laten maken en mij gestimuleerd waar zij dat konden, hoewel zij beiden uit een milieu kwamen waarin studeren niet gebruikelijk was. Ik wil hen hier voor hun houding heel hartelijk danken. Zij maken, net als mijn schoonouders, deze plechtigheid niet meer mee. Ze zouden het, alle vier, prachtig gevonden hebben en heel trots zijn geweest.

Alieke, Wik en Ceres, jullie vinden vaak een vader die even geen tijd heeft, omdat hij nog andere dingen moet doen. Bedankt voor het geduld daarmee.

Ik realiseer mij maar al te goed, dat ik hier in ieder geval niet gestaan zou hebben als Gerry niet het talent zou hebben om alles thuis door te laten gaan. Gerry, ik kan deze hobby alleen uitvoeren omdat jij thuis de bordjes opvangt die ik laat vallen. Toen ik je leerde kennen moest de universitaire studie nog beginnen. Jij hebt gezorgd dat ik kon studeren, door mijn studie te betalen. Daarbij heb je de afgelopen 34 jaar je pedagogische kwaliteiten niet alleen in onze en in andermans kinderen gestoken, maar ook in mij, waardoor ik mij bewust blijf van alle andere belangrijke dingen in het leven, niet zijnde de wetenschap en het rívm. Heel veel dank daarvoor.

*Ik heb gezegd.*

## NOTEN

- 1 Integriteit van ecosystemen is de mate waarin een ecosysteem ongeschonden is.
- 2 Het fotosysteem van planten en algen is een enzymstelsel waarmee zij de energie van zonlicht kunnen opvangen en gebruiken om te groeien en zuurstof te produceren. Dit proces is de fotosynthese.

## LITERATUUR

- Breure, AM, Eijsackers, H, Klijn, JA, Opdam, PFM, Thissen, JBM, Verkaar, HJPA (1996): Wat en hoe met biodiversiteit. Onderzoeksprogrammering opgesteld ten behoeve van de onderbouwing van beleidsstandpunt N59 'Omgevingskwaliteit voor Biodiversiteit', IBN-DLO, SC-DLO, IKC-N, RIVM
- Breure AM, Groot, M, Eijsackers, HJP (2008): 'System-oriented ecotoxicological research: Which way to go?'. *Science of the Total Environment* 406, 530-536
- Breure, AM, Mulder, Ch, Römbke, J, Ruf, A (2005): 'Ecological classification and assessment concepts in soil protection'. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 62, 211-229
- Canfield, DE (2005): 'The early history of atmospheric oxygen: Homage to Robert M. Garrels'. *Annual Reviews Earth and Planetary Science* 33, 1-36
- Carson, R (1962): *Silent spring*. Houghton Mifflin
- Cohen, JE, Jonsson, T, Carpenter, SR (2003): 'Ecological community description using the food web, species abundance, and body size'. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 100, 1781-1786
- Costanza, R, d'Arge, R, De Groot, R, Farber, S, Grasso, M, Hannon, B, Limburg, K, Naeem, S, O'Neill, RV, Paruelo, J, Raskin, RG, Sutton, P, Van den Belt, M (1997): 'The value of the world's ecosystem services and natural capital'. *Nature* 387, 253-260
- Darwin, C (1859): *On the origin of species by means of natural selection, or the preservation of favoured races in the struggle for life*, John Murray, London. Hier is gebruikgemaakt van de Nederlandse vertaling door Ludo Hellemans (2000): *Over het ontstaan van soorten door middel van natuurlijke selectie, of het behoud van bevoordeelde rassen in de strijd om het leven*, Uitgeverij Nieuwezijds, Amsterdam
- De Rooter, PC, Van Veen, JA, Moore, JC, Brussaard, L, Hunt, HW (1993); 'Calculation of nitrogen mineralisation in soil food webs'. *Plant and Soil* 157, 263-273
- De Zwart, D, Dyer, SD, Posthuma, L, Hawkins, CP (2006): 'Use of predictive models to attribute potential effects of mixture toxicity and habitat alteration on the biological condition of fish assemblages'. *Ecological Applications* 16, 1295-1310
- EC (European Commission) (1998): *Understanding Biodiversity*, Ecosystems Research Report 25, Directorate-General Science, Research and Development, Luxembourg, office for official publications of the European Communities, EUR 18444
- EC (European Commission) (2006): Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council establishing a framework for the protection of soil and amending Directive 2004/35/EC COM(2006) 232 final 2006/0086 (COD)
- EC (European Commission) (2000): Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council establishing a framework for community action in the field of water policy
- EP (European Parliament) (2006): Regulation (EC) No 1907/2006 of the European Parliament and of the Council of 18 December 2006 concerning the Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of

- Chemicals (REACH), establishing a European Chemicals Agency, amending Directive 1999/45/EC and repealing Council Regulation (EEC) No 793/93 and Commission Regulation (EC) No 1488/94 as well as Council Directive 76/769/EEC and Commission Directives 91/155/EEC, 93/67/EEC, 93/105/EC and 2000/21/EC
- Gezondheidsraad (1995), Commissie Risicomat en risicobeoordeling: *Niet alle risico's zijn gelijk. Kanttekeningen bij de grondslagen van de risicobenadering in het milieubeleid*. Den Haag: Gezondheidsraad, advies 1995/06
  - Häckel, E (1866): *Generelle Morphologie der Pflanzen*, vol. 2. Georg Reimer, Berlin, Germany. Geciteerd in: Gross, M (2007): 'Restoration and the Origins of Ecology'. *Restoration Ecology* 15, 375-376
  - Hunt, HW, Coleman, DC, Ingham, ER, Ingham, RE, Elliott, ET, Moore, JC, Rose, SL, Reid, CPP, Morley, CR (1987): 'The detrital food web in a shortgrass prairie'. *Biology and Fertility of Soils* 3, 57-68
  - Lovelock, J (1979): *Gaia: a new look at life on earth*. Oxford University Press. Hier is gebruikgemaakt van de Nederlandse vertaling door Bert Segeren (1980): *Gaia, een nieuwe visie op de aarde*, A.W. Bruna, Uitgevers, Utrecht/Antwerpen
  - Mulder, Ch (2006): 'Driving forces from soil invertebrates to ecosystem functioning: the allometric perspective'. *Naturwissenschaften* 93, 67-479
  - Mulder, Ch, Aldenberg, T, De Zwart, D, Van Wijnen, HJ, Breure, AM (2005): 'Evaluating the impact of pollution on plant-Lepidoptera relationships'. *Environmentrics* 16, 357-373
  - Posthuma, L, De Zwart, D (2006): 'Predicted effects of toxicant mixtures are confirmed by changes in fish species communities in Ohio, USA, rivers'. *Environmental Toxicology and Chemistry* 25, 1094-1105
  - Reuman, DC, Mulder, Ch, Banašek-Richter, C, Cattin Blandenier, MF Breure, AM, Den Hollander, H, Kneitel, JM, Raffaelli, D, Woodward, G, Cohen, JE (accepted): 'Allometry of body size and abundance in 166 food webs'. *Advances in Ecological Research*
  - Rutgers M, Mulder Ch, Schouten AJ, Bloem J, Bogte JJ, Breure AM, Brussaard L, De Goede RGM, Faber JH, Jagers op Akkerhuis GAJM, Keidel H, Korthals GW, Smeding FW, Ten Berg C, Van Eekeren N (2007): *Typering van bodemecosystemen in Nederland met tien referenties voor biologische bodemkwaliteit*. RIVM-rapport 607604008, 96 pagina's
  - UNCED (United Nations Conference on Environment and Development) (1992): Agenda 21. Rio de Janeiro, June 1992
  - Van Straalen, NM (2003): 'Ecotoxicology becomes stress ecology'. *Environmental Science and Technology* 37, 325A-230A
  - WCED (World Commission on Environment and Development) (1987): *Our Common Future*. Oxford
  - West, GB, Brown, JH (2005): 'The origin of allometric scaling laws in biology from genomes to ecosystems: towards a quantitative unifying theory of biological structure and organization'. *The Journal of Experimental Biology* 208, 1575-1592
  - Wright JF (2000): 'An introduction to RIVPACS'. In: Wright JF, Sutcliffe DW, Furse MT, editors. *Assessing the biological quality of fresh waters: RIVPACS and other techniques*. Ambleside: Freshwater Biological Association; p. 1-24





