

The background of the entire page is an aerial photograph of agricultural fields. The top portion shows a mix of green and brown fields under a blue sky with light clouds. The bottom portion is dominated by a large, textured field of brown soil with distinct, parallel furrows, suggesting a recently plowed or tilled field. A thin vertical line runs down the left side of the image, and a thin horizontal line runs across the middle, creating a grid-like structure.

# **DE TOEKOMST VAN DE BODEM**



# DE TOEKOMST VAN DE BODEM

Deze essay bundel is uitgebracht ter gelegenheid van het afscheid van de Technische commissie bodem (TCB) op 13 april 2016.

De essays zijn geschreven door (oud)leden en -medewerkers van de TCB.

Redactie: Ali Edelenbosch, Joop Vegter en Joke van Wensem  
De bundel is ook te lezen en downloaden van [www.tcbodem.nl](http://www.tcbodem.nl)

## COLOFON

### **Teksten**

Technische commissie bodem, [www.tcbodem.nl](http://www.tcbodem.nl)

### **Opmaak en druk**

Xerox/OBT, Den Haag

### **Aantal exemplaren**

200

Den Haag, april 2016

# INHOUDSOPGAVE

1	<b>Ali Edelenbosch</b> VOORWOORD VOORZITTER TCB	5
2	<b>Peter de Ruiter</b> EROP OF ERONDER! HET BODEMMOMENTUM	7
3	<b>Oene Oenema</b> BODEMVRUCHTBAARHEID HOLLEND ACHTERUIT?	13
4	<b>Tom Veldkamp</b> NEDERLANDSE BODEMS IN DE KOMENDE EEUW:	21
5	<b>Jan Roelofs</b> DE NEDERLANDSE BODEM IN 2050: BODEMDALING IN LAAG NEDERLAND GROTENDEELS GESTOPT	27
6	<b>Jasper Griffioen</b> STEL DAT NEDERLAND IN 2050 IS OPGEDEELD ...	31
7	<b>Monique van der Aa</b> ER WAS EENS .... EEN DROGE ZOMER IN 2050	37
8	<b>Timo Heimovaara</b> HET BELANG VAN HETEROGENITEIT VOOR IN-SITU BIO-ENGINEERING	41

9	<b>Pim de Voogt</b> BODEMVERONTREINIGING EN PLANETAIRE GRENZEN	47
10	<b>Nico van Straalen</b> DE BODEM IN DE BIO-ECONOMIE	53
11	<b>Boet Glandorf, Jaco Westra en Jan Roels</b> BOUWEN MET HET MICROBIOOM VAN DE BODEM. WENSBEELDEN, WAARDEN EN WETENSCHAP: DRIE INGREDIËNTEN VOOR DUURZAAM BODEMGEBRUIK	57
12	<b>Ana Maria de Roda Husman</b> ANTIBIOTICARESISTENTIE IN DE BODEM: WIE BIEDT WEERSTAND?	63
13	<b>Annemarie van Wezel</b> DE BODEM, BODEMADVISERING EN HUN TOEKOMST IN DRIE KERNWAARDEN	67

# VOORWOORD

## **Aan een lang leven van een ministeriële adviescommissie komt een eind**

In 1987 is gelijk met de wet Bodembescherming vastgesteld dat er een technische commissie moest komen die de portefeuillehoudende minister gevraagd en ongevraagd van advies zou voorzien over alle ontwikkelingen betreffende de bodem. Er is tijdens het leven van deze commissie veel veranderd. Gingen de gevraagde adviezen eerst vooral over bodembescherming en bodemsanering, later werden ze verbreed tot alles wat raakvlakken met die bodem had. Ook bemesting, water, lucht en bebouwing zijn van invloed op de bodem. De Technische commissie bodembescherming werd de Technische commissie bodem.

De laatste jaren heeft de commissie de bodem altijd in die brede samenhang beschouwd. Daarmee was ze de beleidsverandering, die wordt beoogd met de nieuwe wet op de ruimtelijke ordening, de Omgevingswet, al ver voor. Op het moment van schrijven is nog niet voorzien in een andere wettelijke vorm van advisering. De leden van de huidige commissie maken zich daar zorgen over en hebben besloten wat van die zorgen, ideeën en adviezen in de vorm van korte essays op papier te zetten. Daarvoor hebben ze ook oud-leden en medewerkers uitgenodigd. Zie deze bundel als een overdrachtdossier voor toekomstige beslissers.

Halverwege onze bestaansperiode begon men de bodem, behalve als een te beschermen domein, ook te zien als een milieucompartiment dat veel te bieden heeft. De bodem kan een groot aantal bodemdiensten leveren. We spreken dan van ecosysteemdiensten. Zolang dat op een manier en in een tempo gaat waarbij de bodem de veranderingen kan bijbenen is dat prima. Voorwaarde is dat de kwaliteit van de bodem niet wordt aangetast. Daarbij gaat kwaliteit zowel over de chemische, als de biologische en fysische staat van de bodem. Alleen in deze integrale samenhang biedt de bodem ons kansen en kunnen de ecosysteemdiensten optimaal benut worden.

Naast deze verbreding van bescherming naar benutting is de bodem groter geworden door er dieper in te kijken. WKO, geothermie, schaliegas, CO<sub>2</sub>- en gasopslag zijn alle aan de orde in de diepere ondergrond. Het is een uitdaging om daarvoor de toekomst in te kijken vanuit de ervaringen en de lessen uit het verleden. Creëer geen nieuwe bodemsaneringsoperatie. Wanneer we er in slagen op deze manier de bodem duurzaam te gebruiken, dan doen we dat zoals Brundlandt dat in de jaren 80 bedoelde. Zorgvuldig beheer en sturing op landgebruik kunnen een bijdrage leveren aan het oplossen van veel maatschappelijke problemen, zoals klimaatverandering, voedsel-, grondstoffen-, en energieschaarste, drinkwatervoorziening en waterbeheer, verstedelijking en gezondheid.

Je kan het eenvoudig en snel op papier zetten. En we hebben ook al mooie teksten gelezen in de concepten van de nieuwe Omgevingswet. Maar de ervaring leert dat dat niet zegt dat het ook zo zal gebeuren. In de essays leest u dan ook veelvuldig de roep om monitoring. Want als we niet weten hoe de huidige toestand van de bodem is, hoe kunnen we dan weten en volgen wat er verandert? Hoe moeten we weten wanneer een kritische grens wordt bereikt of overschreden? Veranderingen kunnen ongemerkt snel gaan en de bodem is slechts langzaam of niet te herstellen. Alleen onderzoek kan ons de weg wijzen naar een goede omgang met de bodem. Wetenschappers zoeken naar de beste praktijk. En bieden ons hoop, omdat er geregeld nieuwe technische en wetenschappelijke vindingen zijn die ons helpen.

Daarnaast is er de kracht van de bodem zelf. Door beweging en stroming in de ondergrond blijkt er een groot zelfreinigende potentie in de bodem te zitten. Als we goed kijken wat de bodem ons op een bepaalde plek heeft te bieden, als we daar dan zorgvuldig mee omgaan én er een duurzaam gebruik van maken, kan de bodem ons nog tot in lengte van jaren van dienst zijn. Soms zijn er stevige politieke keuzes nodig om een hooggekwalificeerde bodem te kunnen blijven gebruiken; dat vraagt om een actief overheidsbeleid. Zelfs als we denken dat alles wel bediend en bedacht is moeten we er rekening mee houden dat de bodem onvoorspelbaar is en nog allerlei onbekende nieuwe stoffen en reacties voor ons in petto heeft.

Ik ben ervan overtuigd, dat het voor ons en onze kinderen van essentieel belang is onze bodem in ere te houden, als onmisbaar onderdeel van ons gehele ecosysteem. We zijn en blijven daarvoor verantwoordelijk. Ik hoop, dat u in deze bundel de inspiratie vindt daaraan bij te dragen.

**Ali Edelenbosch**

Voorzitter Technische commissie bodem



## EROP OF ERONDER!

### Het bodemmomentum

In het internationale Jaar van de Bodem 2015 is er een bodemmomentum ontstaan. Waar komt dat momentum vandaan? Er zijn drie aanwijsbare gebeurtenissen.

### 'BODEM' KRIJGT AANDACHT IN DE 2015 SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS (SDG)

In september 2015 hebben de lidstaten van de Verenigde Naties nieuwe 'Sustainable Development Goals' (SDG's) geformuleerd. Deze doelstellingen zijn de opvolgers van de rond de eeuwwisseling afgesproken Millennium Development Goals die in 2015 afliepen. Wereldwijd is grote vooruitgang geboekt op belangrijke thema's als armoedebestrijding en voedselbeschikbaarheid, maar voor de andere thema's zijn nieuwe doelstellingen nodig. Deze nieuwe Sustainable Development Goals hebben een looptijd tot 2030. Voor bodemkundigen zijn deze nieuwe doelstellingen belangrijk omdat ze een aantal uitdagingen stellen of opdracht geven aan de bodemkundigen.



Figuur 1. Kern-elementen in de Sustainable Development Goals 2015 (<https://sustainabledevelopment.un.org/>).

De drie Sustainable Development Goals en Targets waarin 'bodem' expliciet wordt genoemd zijn:

- SDG Goal 2** *Een einde aan de honger en een duurzame landbouw*  
**Target 2.4** In 2030 is de landbouw duurzaam, aangepast aan klimaatverandering, extreme weersomstandigheden, droogte, overstromingen en met een bevordering van land- en bodemkwaliteit.
- SDG Goal 3** *Gezondheid en welzijn voor iedereen*  
**Target 3.9** In 2030 is een aanzienlijke reductie bereikt in sterfte en ziekte als gevolg van vermindering van lucht, water en bodemverontreiniging.
- SDG Goal 15** *Duurzame bossen, minder woestijnen, meer biodiversiteit*  
**Target 15.3** In 2020 is woestijnvorming effectief tegengegaan en zijn significante arealen van gedegradeerde bodems hersteld.

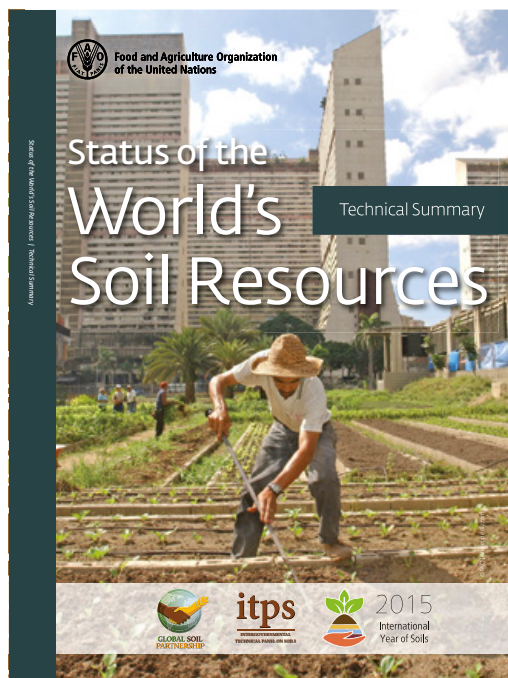
De Sustainable Development Goals bepalen de duurzaamheidsagenda voor wetenschap en samenleving. In Nederland, Europa en wereldwijd. Ze vormen een expliciete uitnodiging aan de bodemkunde om een bijdrage te leveren om deze doelstellingen te realiseren, en aan de bodemkunde anno nu om deze uitdaging op te pakken.

#### HET '4 POUR 1000' INITIATIEF

Het '4 pour 1000' initiatief is een voorstel van de Franse regering om het organische stofgehalte in de bodem wereldwijd te verhogen met 4 promille per jaar. Op basis van berekeningen van het onderzoeksinstituut INRA (L'Institut National de la Recherche Agronomique) kan met een dergelijke verhoging de mondiale koolstofbalans worden hersteld. Tegelijkertijd zal de landbouwkundige bodemvruchtbaarheid toenemen, waardoor mondiale voedselzekerheid dichterbij komt. Win-win dus. Opnieuw een uitdaging voor de bodemkunde!

#### HET UITBRENGEN VAN HET 2015 STATUS OF WORLD SOIL RESOURCES (SWSR) REPORT

Het 2015 Status of the World Soil Resources (SWSR) report is uitgebracht door het Intergovernmental Technical Panel on Soils (ITPS) van het Global Partnership (GSP) onder auspiciën van de Wereld Voedselorganisatie (FAO). Het rapport is samengesteld op basis van bijdragen van meer dan 200 wetenschappers wereldwijd en telt circa 600 pagina's. Daarmee zal het een belangrijk naslagwerk zijn dat niet alleen in print, maar ook in verschillende digitale formats beschikbaar zal komen. Er wordt nu gewerkt aan 2 samenvattingen. Eén inhoudelijk voor de professionals in het veld (circa 100 pagina's) en één voor beleid en politiek (20 pagina's).



Figuur 2. Status of the World Soil Resources (SWSR) report (<http://www.fao.org/globalsoilpartnership/highlights/detail/en/c/215220/>).

### **Wat doen we met het bodemmomentum?**

De drie elementen van het bodemmomentum zijn in belangrijke mate aan elkaar gekoppeld. Het *4 pour mille* initiatief kan een belangrijke bijdrage leveren aan de Sustainable Development Goals 2 en 15. En het SWSR rapport kan een basis zijn voor de internationale bodemkunde om deze doelen te bereiken. Vaak is er vanuit de bodemkunde geklaagd dat de bodem te weinig aandacht krijgt in het beleid rond adaptatie aan en mitigatie van klimaatverandering, en nu is er de kans dat vastlegging van koolstof in de bodem onderdeel wordt van het Nederlands en internationaal landbouw- en milieubeleid. En terecht, duurzaam bodembeheer kan de atmosferische CO<sub>2</sub> aanzienlijk verminderen. Maar dat vraagt om nieuwe vormen van bodembeheer die leiden tot een lange termijn vastlegging van koolstof in de bodem.

### Hoe gaan we dat aanpakken?

Het in 2015 gereed gekomen 'Status of the World Soil Resources report (SWSR)' laat zien dat er meer organische koolstof in de bodem is vastgelegd dan in de atmosfeer en bovengrondse vegetatie: 2.500 miljard ton koolstof in de bodem, in vergelijking met 800 miljard ton in de atmosfeer en 560 miljard ton in het plantaardige en dierlijke leven. In het SWSR rapport evalueert de ITPS de huidige toestand van de bodem organische koolstof in zes regio's: (i) Afrika ten zuiden van de Sahara, (ii) Azië, Europa en Eurazië, (iii) Latijns-Amerika en het Caribisch gebied, (iv) Midden-Oosten en Noord-Afrika, (v) de South west Pacific, en (vi) Noord-Amerika. Hieruit blijkt een achteruitgang in organische koolstof in Afrika ten zuiden van de Sahara, Latijns-Amerika en het Caribisch gebied, en het Nabije Oosten en Noord-Afrika, een variabel beeld in Azië, Europa en Eurazië en de South west Pacific, en een verbetering in Noord-Amerika.

Op basis van deze evaluatie komt de ITP tot een aantal aanbevelingen om wereldwijd de hoeveelheid bodemorganische koolstof te stabiliseren of te verhogen:

- Conversie van bossen en graslanden naar akkerland heeft in gematigde en tropische gebieden geleid tot een verlies van bodemorganische koolstof van ongeveer 25 à 35%; conversie van akkerland naar andere vormen van landgebruik kan leiden tot een vergelijkbare toename bodemorganische koolstof.
- Conversie van veengebieden naar akkerland via drainage en andere beheerprogramma's heeft geleid tot een zeer hoge uitstoot van bodemorganische koolstof naar de atmosfeer; bescherming van veengebieden kan deze hoge uitstoot tegengaan.
- De grootste uitdaging om meer organische koolstof in de bodem vast te leggen ligt in de Zuid Sahara vanwege de geringe hoeveelheden gewasresten. Dit vraagt om een optimale benutting van het aanwezige biologische materiaal, niet alleen gewasresten maar ook dierlijke mest en menselijk afval.
- Koolstof is onlosmakelijk gekoppeld aan nutriënten zoals stikstof (N) en fosfor (P) in relatief vaste verhoudingen. Dit betekent dat een blijvende toename van koolstof in de bodem niet kan worden bereikt zonder een vergelijkbare verhoging van stikstof en fosfor (en andere nutriënten). De koppeling aan bodemnutriënten is cruciaal voor een succesvolle lange termijn vastlegging van koolstof in de bodem.

Op basis van deze analyse stelt de ITPS onder meer de volgende bodembeheersmaatregelen voor: (i) verbeterde plant productiviteit door nutriëntenmanagement, (ii) gewasdiversiteit en – rotaties, (iii) verminderde grondbewerking, (iii) beter residubeheer; (iv) landgebruik wijzigen, bijvoorbeeld van akkerbouw naar grasland of bos; (v) gewasdiversiteit, en (vi) aanplant van leguminosën.

### **Wat is de bijdrage van bodemkundig onderzoek?**

Voor het bodemkundig onderzoek is er de wetenschappelijke uitdaging om na te gaan welke beheersmaatregelen daadwerkelijk zullen leiden tot een lange termijn vastlegging van koolstof in de bodem. Koolstof afkomstig uit vers plantaardig materiaal loopt de kans om snel via afbraak en mineralisatie weer in de atmosfeer terug te keren. Van cruciaal belang is dat de koolstof via het complex van biogeochemische processen langdurig in de bodem wordt vastgelegd, door middel van vastlegging van moeilijk afbreekbaar organisch materiaal en associaties met de bodemdeeltjes.

### **Peter de Ruiter**

Universiteit van Amsterdam / Wageningen UR  
p.c.deruiter@uva.nl



## BODEMVRUCHTBAARHEID HOLLEND ACHTERUIT?

Boeren zijn bezorgd over de bodemvruchtbaarheid, al heel lang. In het verleden is door bemesting, bekalking, grondbewerking, gewasrotatie, drainage en beregening de bodemvruchtbaarheid in Nederland sterk verbeterd. Mede daardoor zijn de gemiddelde gewasopbrengsten nu zeer hoog, vergeleken met andere landen. Maar de uitingen van bezorgdheid zijn gebleven en lijken toe te nemen, afgaande op recente berichten in de media. Hoe komt dat? Wat valt er aan te doen? En wat betekent dit voor 2050?

Er zijn meerdere redenen voor de recente uitingen van bezorgdheid over de bodemvruchtbaarheid. Door regelgeving van de overheid mogen nu beperkte hoeveelheden mest en kunstmest worden toegediend, terwijl dat voor 1985 onbeperkt was. Er is ook frustratie over regels die bedrijven noodzaken om het teveel aan dierlijke mest af te voeren, terwijl die gelijktijdig toestaan dat er wel kunstmest mag worden aangevoerd. Bovendien is er onvrede over regels die verbieden om mest in september op het land te brengen, terwijl het dan prachtig weer kan zijn. Deze regels beperken de vrijheid om te bemesten naar eigen inzichten. Door de gebruiksnormen zijn de mestafzetkosten voor veehouders ook fors toegenomen. Akkerbouwers hebben daardoor hogere inkomsten per kuub mest die wordt afgenomen, maar ze kunnen minder mest afnemen dan voorheen (en ook minder dan ze zouden willen afnemen).

Een tweede reden is de berichtgeving over een dalend organische stofgehalte en een dalende fosfaattoestand van de bovengrond, een dalend ruweiwitgehalte in het kuilgras en de lage vitaminen- en mineralengehaltes in groente en fruit. Voor een deel komen deze berichten uit het buitenland. Hoe moeten deze berichten worden geïnterpreteerd? Een daling in stikstof- en fosfaatgehaltes in bodem en gewas, en in grondwater en oppervlaktewater was te verwachten, gegeven de eerder genoemde regels. Deze afnames zijn per definitie ook niet verkeerd. Voor 2000 was het ruweiwitgehalte in het kuilgras vaak erg hoog. Dat geldt ook voor de fosfaattoestand van veel percelen. Ruimtelijk is er grote variatie in bodemsamenstelling en in bedrijfsvoering. Het omzetten van grasland in bouwland gaat altijd gepaard met een daling van het organische stofgehalte. Maar niet alle signalen over afnemende gehalten kunnen als onbelangrijk weggewuifd worden. De eerder genoemde regels hebben tot een trendbreuk in de ontwikkeling van de bodemvruchtbaarheid geleid.

Een derde reden voor de bezorgdheid over de bodemvruchtbaarheid kan de afvlakking van de ontwikkeling van de gewasopbrengsten zijn. Vooral in de tweede helft van de twintigste eeuw zijn de gewasopbrengsten sterk toegenomen. De gemiddelde opbrengsten van suikerbieten en snijmais zijn de laatste 10 jaar nog met enkele procenten per jaar gestegen. Maar dat geldt voor veel andere gewassen niet; de toename van de gewasopbrengsten

vlakt af. De gerealiseerde opbrengsten in de praktijk benaderen de potentiële, maximale opbrengsten. Tegelijkertijd fluctueren de prijzen van producten meer, maar stijgen ze niet, en wordt het land steeds duurder. De prijzen van land zijn de voorbije 20 jaar met een factor twee tot drie gestegen, van minder dan 20.000 per ha in 1990 – 1995 tot meer dan 50.000 euro per ha in 2010-2015, door schaarste. Steeds meer kapitaal zit in het land, terwijl de opbrengsten van het land niet evenredig toenemen.

De sterke uiting van bezorgdheid over de bodemvruchtbaarheid past ook in deze tijd. Ronkend taalgebruik doet het goed. Je krijgt gemakkelijk aandacht, het klinkt daadkrachtig en eenvoudig, en iedereen heeft er een beeld bij. De vraag is daarom ook of oneliners bijdragen aan een *gemeenschappelijk* beeld en aan juiste oplossingen. Is er sprake van 'een achteruit hollende bodemvruchtbaarheid', en zo ja, wat betekent dit dan?

### **Wat is bodemvruchtbaarheid?**

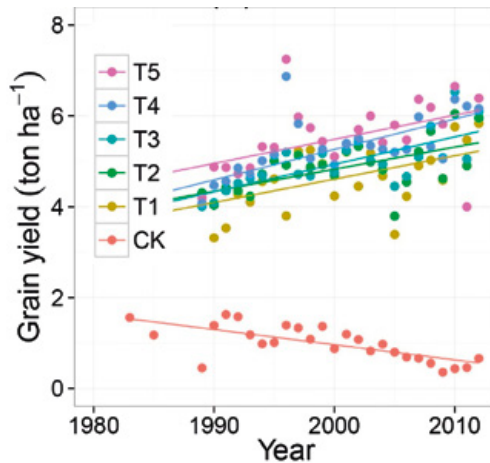
De brochure '30 vragen en antwoorden over bodemvruchtbaarheid'<sup>1</sup> geeft een systematische analyse van het begrip bodemvruchtbaarheid. Er zijn twee gangbare definities (i) het opbrengend vermogen van de bodem, en (ii) het nutriëntenleverend vermogen van de bodem. De eerste beschrijving is breder, meeromvattend dan de tweede. In de praktijk en in de literatuur worden nog veel meer beschrijvingen gegeven<sup>2</sup>.

Voor de karakterisering van de bodemvruchtbaarheid volgens de eerstgenoemde definitie volstaat één indicator, namelijk de gewasopbrengst van een onbemest veld, in kg per ha. Die opbrengst is natuurlijk afhankelijk van het gewas, variëteit, weer en management, maar door standaardisering van de waarnemingen en door meerdere jaren te combineren, ontstaat een 'integrale maat' voor de bodemvruchtbaarheid. De gewaskwaliteit en -samenstelling kunnen eventueel ook in de integrale indicator worden opgenomen. Figuur 1 schets een beeld van mogelijke veranderingen in gewasopbrengst door wel en geen bemesting over een periode van 30 jaar. De gemiddelde tarweopbrengst op het onbemeste veldje neemt gestaag af omdat de bodemvruchtbaarheid afneemt. Op de bemeste veldjes neemt de gemiddelde tarweopbrengst toe, terwijl de bemesting elk jaar gelijk is gebleven. Is de tarweopbrengst op het bemeste veldje nu toegenomen door een toename van de bodemvruchtbaarheid of door betere variëteiten, een betere gewasverzorging of door klimaatverandering? Dat is onduidelijk, en dat geeft tevens de beperktheid van de eerstgenoemde definitie weer; de oorzaken van de veranderingen in gewasopbrengst worden niet duidelijk.

<sup>1</sup> Schils RLM (2012). 30 vragen en antwoorden over bodemvruchtbaarheid. <http://www.wageningenur.nl/nl/show/30-vragen-en-antwoorden-over-bodemvruchtbaarheid.htm>

<sup>2</sup> Patzel et al. (2000). Soil Fertility—Phenomenon and Concept. J. Plant Nutr. Soil Sci. 163:129-142.





Figuur 1. Tarweopbrengsten in een veeljarig proefveld met zes behandelingen in Anhui, China. CK is het onbemeste veld, T1 is het veld met de 'optimale' bemesting met stikstof (N), fosfaat (P) en kalium (K) via kunstmest. T2, T3, T4 en T5 hebben jaarlijks ook de optimale NPK-bemesting toegediend gekregen, aangevuld met of stro (T2 en T3), of varkensmest (T4), of rundermest (T5). Punten (stippen) geven jaaropbrengsten weer, lijnen de gemiddelde trends. Verschillen tussen jaren in opbrengst zijn soms groot, door variatie in weersomstandigheden<sup>3</sup>.

In Nederland hebben we vrijwel geen lange termijn proefvelden met onbemeste en bemeste behandelingen meer. Ze zijn er wel geweest, maar ze zijn vrijwel allemaal gesneuveld, omdat proeflocaties werden opgeheven, en gedacht werd dat computermodellen veel goedkoper en net zo goed of nog beter dan proefvelden waren. Veel andere landen hebben lange termijn proefvelden wel in stand gehouden. Op het oudste landbouwkundige proefveldcomplex in de wereld, in Rothamsted, Verenigd Koninkrijk, wordt sinds 1843 hetzelfde bemestingsregime en gewasrotatie op deze proefvelden uitgevoerd. Met de resultaten van deze proefvelden kunnen relaties gelegd worden tussen veranderingen in bodemvruchtbaarheid en gewasopbrengsten en -kwaliteit en nutriëntenverliezen.

De bodemvruchtbaarheid en het nutriënten leverend vermogen van de bodem zijn niet via één of twee bodemanalyses vast te stellen. Welke parameters zijn belangrijk? De keuze is groot; er wordt onderscheid gemaakt tussen fysische, chemische en biologische bodemkenmerken, en tussen beschikbare en minder of niet direct beschikbare nutriënten. Op de bemestingswijzers van BLGG (nu Eurofins) prijken 38 verschillende bodemvruchtbaarheidsindicatoren. Andere laboratoria (in andere landen) gebruiken deels dezelfde indicatoren, maar vaak andere methoden om die indicatoren te meten en andere eenheden om de indicatoren uit te drukken. De vele indicatoren en de verscheidenheid in methoden en eenheden geeft de beperktheid van de tweede definitie weer. Ideaal zou zijn als er een set uniforme indicatoren is die gekoppeld kan worden aan gewasopbrengsten en -kwaliteit.

<sup>3</sup> Qin et al. (2015). Yield response to water and nutrients in a rainfed wheat-soybean system in the North China Plain during a 30-years' period. Scientific Reports (in press).

### **Gaat de bodemvruchtbaarheid hollend achter uit?**

Hollend achteruit is een populaire uitdrukking om onvrede uit te drukken, over bijvoorbeeld het Nederlands voetbal, het wiskunde onderwijs op de middelbare school, het aantal grutto's, de kwaliteit van het handschrift van jongeren. De afname wordt niet geaccepteerd. Een afname van de bodemvruchtbaarheid wordt ook niet geaccepteerd. Maar is dat vol te houden?

Als de bemesting door regelgeving wordt beperkt dan is de kans groot dat de voorraad van direct beschikbare nutriënten in de bodem afneemt, vooral als in het verleden heel veel werd bemest. Als je veel indicatoren voor de bodemvruchtbaarheid meet, dan is de kans relatief groot dat één of meerdere indicatoren buiten het zogenoemde 'streeftraject' liggen. Als door zware machines de bodem wordt verdicht, dan is de kans op plasvorming, gestoorde wortelontwikkeling en verhoogde nutriëntenverliezen groot. Als door diepe grondbewerking maagdelijke ondergrond naar boven wordt geploegd, dan is de kans op een verlaagde bodemvruchtbaarheid van de bouwvoor groot. Al deze situaties komen voor in de praktijk, maar op welke schaal? Opvallend is ook dat in de huidige praktijk de pH van veel percelen lager is dan de geadviseerde waarde, terwijl de pH door bekalking gemakkelijk kan worden gecorrigeerd.

Arjan Reijneveld heeft de veranderingen in bodemvruchtbaarheid voor verschillende indicatoren voor heel Nederland in beeld gebracht voor de periode 1930-2008. Uit die analyse blijkt dat de bodemvruchtbaarheid gemiddeld niet is afgenomen<sup>4</sup>. Schils (2012; referentie 2) komt tot vergelijkbare conclusies. Voor de laatste 5 à 10 jaar ontbreken echter goede integrale overzichten van de veranderingen in bodemvruchtbaarheid. Het is te hopen dat deze analyse t.b.v. de aanstaande evaluatie Meststoffenwet 2016 wel wordt gemaakt, om na te gaan of veranderingen lokaal, regionaal en/of landelijk zijn, en om te bepalen wat je er aan kan en moet doen.

### **Juiste diagnose nodig**

Onvrede is een goede stimulans voor actie(s). Maar welke actie(s) moet(en) worden genomen? Als iemand zich ziek meldt bij een arts, dan kan die arts geen recept voorschrijven zonder eerst een juiste diagnose vast te stellen. Als de bodemvruchtbaarheid hollend achteruit gaat, dan moet eerst duidelijk zijn wat er precies aan de hand is, om vast te kunnen stellen welke acties/maatregelen nodig zijn en wie die moet nemen. In de praktijk zijn al veel regionale studiegroepen, praktijknetwerken en organisaties actief om de boer te adviseren over bodem en bodemvruchtbaarheid. Dat is heel nuttig, het draagt bij aan een beter bodembeheer en duurzaamheid. Voor het verkrijgen van een algemeen, landelijk beeld is volgens mij een meer systematische monitoring en diagnose nodig, zoals hieronder aangegeven.

---

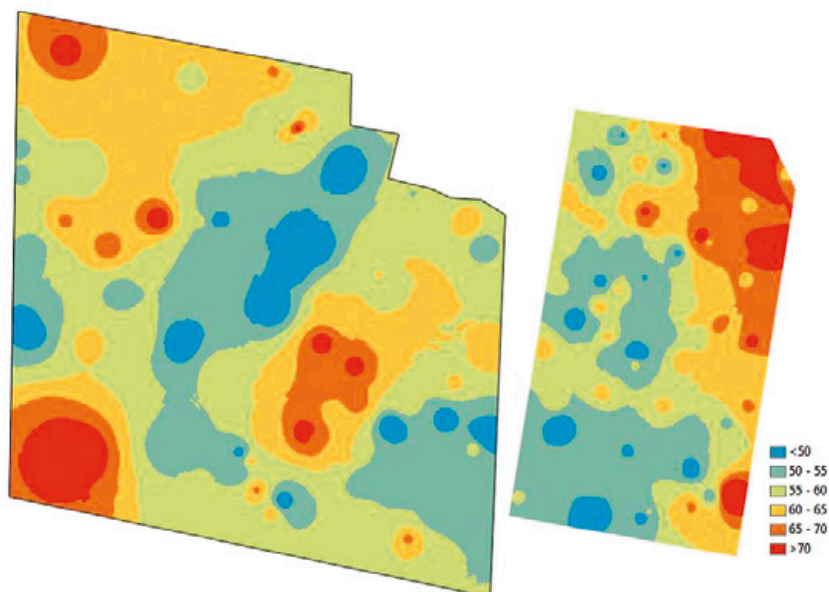
<sup>4</sup> Reijneveld JA (2013). Unraveling changes in soil fertility of agricultural land in The Netherlands. 226 pages. PhD Thesis, Wageningen University, The Netherlands.

1. Beschikbare resultaten van grond- en gewasanalyses van de laatste 10 jaar kunnen aangeven welke trends optreden, zowel op landelijke als regionale schaal. De kanttekening hierbij is dat enkel resultaten beschikbaar zijn van bedrijven die analyses laten uitvoeren; circa 50% van de ondernemers laat geen grond- en gewasanalyses verrichten.
2. Beschikbare resultaten van gewasopbrengsten van de laatste 10 jaar kunnen mogelijke trendbreuken in gewasopbrengsten aangeven, op zowel landelijke als regionale schaal.
3. Bodemverdichting wordt door boeren en experts gezien als een ernstige vorm van bodemdegradatie, maar er zijn weinig metingen om dat te staven. Bodemverdichting wordt in de praktijk ook vaak onderschat<sup>5</sup>. Ik denk dat een veel systematischer monitoring van bodemverdichting in de ondiepe ondergrond moet plaatsvinden, vooral ook om landelijke en regionale trends vast te kunnen stellen.
4. De methode voor het vaststellen van het stikstofleverend vermogen van de bodem in het huidige bemestingsadvies dient te worden verbeterd; er is behoefte aan betere methoden voor de bepaling van de hoeveelheid gemakkelijk beschikbare stikstof<sup>6</sup>.
5. Trends in de opbrengst van onbemeste veldjes of stroken op een perceel zijn waarschijnlijk de beste integrale indicator voor veranderingen in bodemvruchtbaarheid (figuur 1). Deze onbemeste veldjes of stroken dienen ieder jaar op een ander representatief deel van een representatief perceel van een bedrijf te liggen. Deze waarnemingen zouden jaarlijks moeten worden uitgevoerd op circa 50 tot 100 percelen om goede landelijke en regionale beelden en trends te kunnen vaststellen.
6. Er is meer aandacht nodig voor variatie in bodemvruchtbaarheid binnen percelen. Percelen zijn door samenvoeging veel groter geworden en, vreemd genoeg, mede door egalisering heterogener geworden. Figuur 2 geeft een beeld van de variatie in de fosfaattoestand binnen twee percelen; op beide percelen varieerde de P-AL-toestand van < 50 tot > 70 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per 100 g. Een P-AL-waarde van >50 wordt als 'hoog' gewaardeerd in het bemestingsadvies.

---

<sup>5</sup> Akker JJH van den, Hendriks RFA (2015). Hoe erg is ondergrondverdichting in de landbouw? Een samenvatting en conclusies uit onderzoek naar ondergrondverdichting. Bodem 3-2015, blz 42-44.

<sup>6</sup> Ros GH (2011). Predicting soil Nitrogen supply. Relevance of extractable soil organic matter fractions. 248 pages. PhD Thesis Wageningen University, The Netherlands.



*Figuur 2. Ruimtelijke variatie in de fosfaattoestand (P-AL-getal, in mg P2O5 per 100 g grond) binnen twee percelen in de Hoeksche Waard in Nederland. Percelen zijn 10 en 20 ha groot; op beide percelen werden at random 100 bodemonsters genomen en geanalyseerd (Yang et al., unpublished).*

Voor genoemde zes actiepunten kunnen naar verwachting een goede diagnose geven van de bodemvruchtbaarheid in Nederland, en onderbouwing geven voor mogelijke maatregelen. De resultaten dienen ingebracht te worden bij de vierjaarlijkse evaluatie van de Meststofwet en bij het opstellen van de Nitraatactie Programma's. Boeren, toeleverende en verwerkende industrie, overheden en de Nederlandse samenleving hebben allen baat bij een goede bodemvruchtbaarheid en bij een juiste diagnose en juiste maatregelen als de 'patiënt' ziek is.

### **Bodemvruchtbaarheid in 2050**

Als we de berichtgeving in sommige media mogen geloven, dan gaat de bodemvruchtbaarheid hollend achteruit, en hebben we in 2050 geen bodemvruchtbaarheid meer over. Dat is een zeer somber beeld, dat niet strookt met nu bekende statistische trends in bodemvruchtbaarheidskenmerken en ook niet met het beeld van goed ondernemerschap en rentmeesterschap, waar we in Nederland zo trots op zijn. De landbouw en de samenleving zijn te afhankelijk van bodemvruchtbaarheid om bodemdegradatie te laten gebeuren. Daarom blijven een goede monitoring, zoals hiervoor aangegeven, goede diagnoses en de bijbehorende juiste maatregelen nodig. In die volgorde.

Zijn er dan geen zorgen voor 2050? Ja, als we niet opletten. Verdichting van de ondiepe ondergrond ligt op de loer. Het groeiseizoen wordt langer, waardoor de oogst niet altijd onder goede weersomstandigheden kan plaatsvinden en de teelt van een nagewas of groenbemester ook lastiger wordt. De prijs van kunstmest zal waarschijnlijk stijgen en dierlijke mest zal waarschijnlijk minder overvloedig beschikbaar zijn. Micronutriënten zullen meer aandacht vragen.

Er zijn ook kansen. GPS, sensor- en precisietechnologie maakt het mogelijk om ruimtelijke variaties binnen percelen te benutten, waardoor de benutting van land, water, nutriënten, en gewasbeschermingsmiddelen zal verbeteren. Dat gebeurt nu al lokaal, maar zal in 2050 gangbaar zijn. De toenemende kennis over bodembioïologie, bodemchemie en bodemfysica zal onze mening over gezonde teeltsystemen, rotaties en de beschikbaarheid van nutriënten in de bodem zeer waarschijnlijk veranderen. Maar ook in 2050 zullen er berichten zijn dat de bodemvruchtbaarheid hollend achteruit gaat. Daar durf ik wel een goede fles wijn op in te zetten.

**Oene Oenema**

Wageningen UR, Alterra

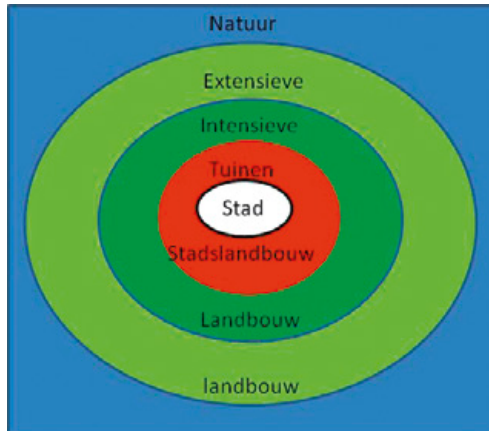
[oene.oenema@wur.nl](mailto:oene.oenema@wur.nl)



## NEDERLANDSE BODEMS DE KOMENDE EEUW:

### de transitie van een stabiel regulerend systeem naar een labiel en omslaggevoelig reservoir voor nutriënten en organische stof

Bodem is en blijft de basis voor veel landgebonden maatschappelijke ontwikkelingen. Dit betreft niet alleen de traditionele rurale landbouwgerelateerde ontwikkelingen, maar ook de steeds belangrijker wordende urbane ontwikkelingen. Er gaat steeds meer een zoneringsontstaan vergelijkbaar met het Von Thünen model: de kernen zijn economisch rijke centra met een hoge bevolkingsdichtheid, waar concentratie van middelen plaatsvindt. Daaromheen kun je zones onderscheiden waar veel voedselproductie is en andere grondstoffen gewonnen worden. Daaromheen in de periferie zijn de gebieden waar nog steeds ontginning plaatsvindt, zie figuur 1.



Figuur 1. Zonering van bodemgebonden maatschappelijke ontwikkeling.

De indirecte impact van huidige en toekomstige economische ontwikkelingen op bodems vindt plaats in de periferie van de wereld. Er worden nog steeds op grote schaal gebieden ontwikkeld ten koste van de natuurlijke ecosystemen en bijbehorende bodems. In deze klassieke expansiegebieden (Zuid Amerika en Afrika) vindt grootschalige bodemdegradatie plaats met vaak verlies van essentiële nutriënten voor plantengroei, zoals stikstof, fosfor en kalium (NPK.) Dit gaat vaak hand in hand met een afname van het organische stofgehalte van de bodems, gecombineerd met een verslechtering van de bodemstructuur waardoor de plantaardige productiviteit structureel afneemt. Deze vorm van bodemdegradatie is eigenlijk een onomkeerbaar proces. Herstel is lastig.

Meer directe impact van socio-economische ontwikkelingen vindt plaats in die gebieden waar de economische en welvaartsgroei het hoogst is, zoals bijvoorbeeld in Nederland. Dergelijke gebieden worden gekenmerkt door veranderingen in de bodem door intensief gebruik, waardoor er niet alleen bodemverontreiniging ontstaat of toeneemt, maar ook een accumulatie plaatsvindt van organische stof en nutriënten door overbemesting en intensief management. In veel dichtbevolkte gebieden in Azië bijvoorbeeld worden meerdere oogsten per jaar geproduceerd. Dit kan alleen door het gebruik van een grote externe aanvoer van mineralen. De voortdurende vernieuwing op landbouwkundig gebied zorgt al vele decennia voor een bijna lineaire toename in opbrengsten per hectare. Deze toename zal op termijn toch gaan afvlakken en de vraag is of door allerlei terugkoppelingen in het complexe landbouwbodemsysteem dit niet weer gaat leiden tot een structurele afname van opbrengst per hectare. Wat gezien de nog steeds groeiende wereldpopulatie tot mondiale spanningen zal leiden.

Wat we al heel duidelijk zien in huidige intensief gebruikte bodemsystemen in Nederland is dat het organische stofgehalte in veel bodems al enkele decennia ongeveer op niveau is gebleven en als we corrigeren voor grondwater verlaginggerelateerde veenoxidatie, kunnen we zelfs een toename in bodem- organische stof observeren. Dit geldt met name in de zandgronden waar ook intensieve veehouderij plaatsvindt. Tegelijkertijd zien we dat de organische stofdynamiek in deze bodems is toegenomen. De gemiddelde verblijftijd van koolstof is sterk gereduceerd, dit betekent dat het bufferende effect van oude organische stof verdwijnt, waardoor de Nederlandse bodems heel dynamisch zijn geworden. De organische stof omzettingssnelheid is sterk verhoogt. Hierdoor kan de netto geaccumuleerde organische stof ook weer snel verdwijnen. Een paar jaar van mismanagement kan veel van de met zorg op gebouwde organische stof laten verdwijnen. Dit laat zien dat onze bodems in een transitieproces zitten van een stabiliserend systeem naar een meer labiel systeem. Hierdoor neemt de bufferende werking die bodems in het milieu hebben verder af. De milieu-implicaties van grootschalige snelle oxidatie van bodemorganische stof met de bijbehorende vrijlating van vele nutriënten en verontreinigingen zijn nogal groot. Waarschijnlijk vergelijkbaar met de jaren zeventig situatie met veel stikstof en fosfaat in het oppervlakte- en grondwater.



In urbane centra zijn bodems steeds belangrijker voor wonen, werken en recreatie. Voor dergelijk gebruik gelden meestal strengere kwaliteitseisen en in het algemeen worden dergelijke bodems goed geanalyseerd en beheerd. De meestal oude, vaak industriële verontreinigen zijn gelokaliseerd en of geïsoleerd of gesaneerd. Verder is er een algemene trend dat urbane bodems goed gemanaged worden en een verhoogd gehalte aan organische stof laten zien. De afwegingen van bodemmanagement in urbane centra zijn minder bedrijfseconomisch ingegeven. Er zijn geen tuinen in Nederland die als productie middel bedrijfsmatig worden ingezet. Kortom geld speelt een beperkte rol in bodemmanagement afwegingen in de stad.

Dit is anders dan in de productielandbouw waar directe rendementafweging plaatsvindt tussen productiekosten - in dit geval het aanvullen van organische stof in de bodem - en baten, in dit geval de economische opbrengst van gewas of vee.

Ten aanzien van Nederland kunnen we met de recente klimaatscenario's met redelijke zekerheid de globale trend van veranderingen weten (zie kader).

#### **Verwachte veranderingen van ons klimaat**

- De opwarming zet door
- De winters worden gemiddeld natter
- De zware zomerbuien worden heviger (maar het aantal zomerdagen met regen neemt juist af)
- De zeespiegel blijft stijgen

*Figuur 2. Bron: KNMI.*

Puur biofysisch kunnen we daarom wel enige uitspraken doen over de te verwachten trends in Nederlandse bodems. Opwarming betekent dat de bodemorganische stof makkelijker zal oxideren gedurende de zomers, terwijl de nattere winters dit enigszins zullen compenseren. Maar de niet grondwaterbeïnvloede bodems zullen in de landelijke gebieden een kleine netto afname in organische stof laten zien bij gelijkblijvend management. Wat potentieel ernstiger is, is dat een steeds groter deel van de opgeslagen organische stof behoort tot de labielere fractie. In met name zeer warme en droge jaren kan de voorraad organische stof in de Nederlandse zandbodems dan opeens snel gaan afnemen. Het is zelfs niet ondenkbaar dat er een omslagpunt is waarbij veel bodemorganische stof 'opeens' verdwijnt. Hetzelfde kan gebeuren als de invoer van diervoeder en andere nutriënten (bodeminputs) afneemt. Dit kan gebeuren als Nederland massaal overstapt op biologische landbouw en/of door een economische teruggang minder vee gaat produceren.

De enige manier om dit te voorkomen is moeilijk afbreekbaar organische stof toe te voegen aan de bodems. Voorbeelden hiervan zijn de stabielere fracties welke in oude gebrande veengronden worden gevonden. Gebalanceerde biologische landbouw kan dit ook bereiken, maar dan zal de opbouw van de stabielere organische stof fractie in de eerste decennia gepaard gaan met lagere gewasopbrengsten.

In de natte veengebieden zal de zeespiegel gerelateerde grondwaterstijging ervoor zorgen dat de grote verliezen door veenoxidatie zullen gaan afnemen. Deze ontwikkeling heeft wel grote gevolgen voor het landgebruik. Het is nog maar de vraag of in het Nederlandse veenweidegebied het vee nog wel in het weiland kan grazen in verband met afnemende draagkracht van deze bodems.

In het stedelijk gebied zal de temperatuurverhoging versterkt worden door het stedelijk hitte-effect. Maar in deze gebieden zal eventueel verlies aan organische stof zeker worden aangevuld omdat de economische afwegingen anders zijn dan op een landbouw- of vee- teeltbedrijf. Hierdoor zal hier ook met name de turnover van het bodemorganisch materiaal sterk toenemen.

Als we ervan uitgaan dat onze bevolking en de algemene welvaart verder zullen toenemen krijgen we steeds verder toenemende druk op het bodemsysteem. Enerzijds zal er een verdere intensivering van de voedselproductie plaatsvinden, terwijl er anderzijds in en rondom urbane centra hoge kwaliteitseisen aan bodemfuncties worden gesteld. We krijgen een situatie dat in landelijke gebieden de focus zal blijven liggen op hoge productieniveaus, met een verdere toename in nutriënten en organische stof turnover. Als er tijdens extreem warme en droge jaren veel oxidatie van organische stof plaatsvindt, zal dit niet leiden tot ander bodemmanagement. Als de productiviteit onder druk staat zullen externe inputs toenemen (ten koste van periferiegebieden op aarde) terwijl de extra emissie van broeikasgassen geen noemenswaardige rol zal spelen als de belangstelling voor de klimaatdiscussie verder afneemt.

In de stedelijke gebieden zal er weinig veranderen. De eisen voor bodemgebruik blijven hoog, en aangezien het bodemgebruik niet economisch winstgevend hoeft te zijn zullen particulieren hun tuintje blijven bemesten ondanks de kosten.

Al deze ontwikkelingen leiden tot een nog meer verhoogde labiele organische stoffractie in Nederlandse bodems. De bodemcondities worden steeds meer in de richting van een kantelpunt geduwd. Deze ontwikkelingen leiden tot de transitie van Nederlandse bodems, van een stabiel regulerend systeem naar een meer labiel en omslaggevoelig reservoir voor nutriënten en organische stof.

Deze transitie zal leiden tot een situatie waarbij het beheer van onze bodems en ondiepe ondergrond veel ingewikkelder zal worden. Voorraden organische stof in onze bodems moeten veel bewuster worden beheerd vanuit een dynamisch perspectief, meer dan nu het geval is. Het plotselinge vrijkomen van grote hoeveelheden nutriënten en eventuele verontreinigen heeft implicaties voor broeikasgasemissies en de kwaliteit van ons grond- en oppervlaktewater. Een deel van de wateroplosbare nutriënten zullen in grondwatergerelateerde oxiden en hydroxiden worden vastgelegd. Om dit proces goed te kunnen volgen is veel meer kennis nodig van de ondiepe ondergrond dan nu voorhanden is. Met de huidige meet- en monitortechnieken is Nederland niet voorbereid op deze aanstaande bodemsysteem transitie.

**Tom Veldkamp**

Universiteit Twente

a.veldkamp@utwente.nl



## DE NEDERLANDSE BODEM IN 2050: BODEMDALING IN LAAG NEDERLAND GROTENDEELS GESTOPT

Ik verwacht dat zich in 2050 enorme veranderingen hebben voltrokken in en op de Nederlandse bodem, met name in laag Nederland, het veenweidegebied. Om de drassige veengronden te kunnen gebruiken zijn deze ontwaterd door het graven van tienduizenden kilometers sloten, vaarten en kanalen en door het wegpompen van water via windmolens en gemalen. Als gevolg van die drooglegging is het veen gaan afbreken en is het land sterk gedaald. Het grootste deel van het veenweidegebied ligt al meters beneden zeeniveau en de bodemdaling gaat nog steeds door, met plaatselijk wel een centimeter per jaar, dus tot wel een meter per eeuw.

Er is een aantal redenen waarom we niet door kunnen gaan met deze praktijk. Allereerst de klimaatverandering: als gevolg van de opwarming van de aarde zal de zeespiegel de komende eeuw met ca 1 meter stijgen, terwijl de bodem in laag Nederland met ongeveer een meter daalt, waardoor het steeds moeilijker wordt om droge voeten te houden. Ten tweede zullen Europa en ook hopelijk de Nederlandse politiek het niet meer verantwoord achten om per hectare veenweide tot wel 20 ton CO<sub>2</sub> per jaar de lucht in te stoten, hetgeen de klimaatverandering extra stimuleert. Ook geven waterbeheerders aan dat de kosten van het onderhoud van de huidige veenweiden nu al in geen verhouding meer staan tot de opbrengsten uit de landbouw en het is de vraag of er geen andere manier van boeren is, waarbij de uitstoot van broeikasgassen sterk vermindert en de bodem niet meer daalt.

Het simpele antwoord hierop is ja en de oplossing is: stap over op natte landbouw, de zogenaamde paludicultuur. Zet het land plas dras en ga op grote schaal energiegewassen telen zoals elzen. Een nat elzenbos, ook wel elzenbroek genoemd, is een vegetatietype waarbij zelfs nog sprake is van bodemstijging met een rotatie van 20 jaar, dat wil zeggen: elke 20 jaar al het hout oogsten ten behoeve van stroomopwekking in houtcentrales. Een ander potentieel gewas is lisdodde. De stengels van deze planten zitten vol luchtkanalen en door bossen gedroogde stengels tot platen te persen kunnen isolatieplaten geproduceerd worden voor de bouw. In Duitsland is al een bedrijf dat isolatieplaten van lisdodde produceert. Een ander potentieel product is riet voor onder andere dakbedekking. Door een juiste afstemming van de bemesting kan riet geteeld worden dat veel duurzamer is en dus veel langer meegaat.

De vraag is of deze transitie van droge naar natte landbouw maatschappelijk haalbaar is. Ik persoonlijk denk van wel, maar dat zal niet lukken van vandaag op morgen. Men is in west Nederland gewend aan graslandschap met verre uitzichten en mensen zijn conserva-

tief, dat wil zeggen dat alles moet blijven zoals het altijd al was. Vraag je het iemand die opgegroeid is in een niet drooggelegd veenlandschap zoals de Weerribben of de Wieden, dan zal die fel gekant zijn tegen het omvormen van dat landschap tot monotoon grasland. Ook de enorme bezoekersaantallen van westerlingen in de Weerribben en Wieden maken duidelijk dat dit landschapsbeeld door zeer veel mensen erg gewaardeerd wordt. Door mooie en ruime demonstratieprojecten aan te leggen zal het enthousiasme om delen van het veenweidegebied om te vormen tot een cultureel laagveengebied toenemen. Ook de biodiversiteit zal sterk toenemen, terwijl het aantal weidevogels verder afneemt. Dit laatste kan mogelijk gecompenseerd worden door in het kleigraslandschap een hoger waterpeil aan te houden in de winter en in het voorjaar, hetgeen de weidevogels daar sterk zal bevoordelen.

Een ander groot struikelblok vormt de bewoning, niet alleen de afgelegen boerderijen, maar ook de dorpen in het veenweidegebied. Als in de dorpen een laag waterpeil wordt gehandhaafd, omdat men geen wateroverlast wil in onder andere de kelders, dan zal het dorp verder dalen terwijl de omgeving niet meer daalt of zelfs stijgt.



*Figuur 1. Plas dras vernatte veenweide.*

*Linksboven: veenmos teelt, foto: Gijs van Dijk; rechtsboven: lisdodde akker, foto: Christian Fritz; onder: lisdodde oogst, foto: Christian Fritz.*

Het zal nog veel inspanningen vergen om dit probleem te tackelen, maar ondanks dat voorzie ik toch dat in 2050 in west Nederland een zeer afwisselend landschap zal ontstaan met op die plaatsen waar bijna of geen veen meer is natte graslanden met veel weidevogels, afgewisseld met elzenbroekbossen, rietvelden, lisdodde kwekerijen en mooie schone veenmeren met eindelijk helder water, omdat er minder gemest hoeft te worden, zie figuur 1. Door afwisselende gebieden met hier en daar moerasbossen, rietvelden en dergelijke zal ook het nu zo verrommelde landschap grotendeels aan het zicht worden onttrokken. Inmiddels heeft een aantal waterschappen in het westen van het land zeer enthousiast gereageerd op deze ideeën en zijn de eerste proefprojecten onder de naam aquafarming in voorbereiding.

**Jan Roelofs**

Radboud Universiteit Nijmegen

[j.roelofs@science.ru.nl](mailto:j.roelofs@science.ru.nl)





## STEL DAT NEDERLAND IN 2050 IS OPGEDEELD...

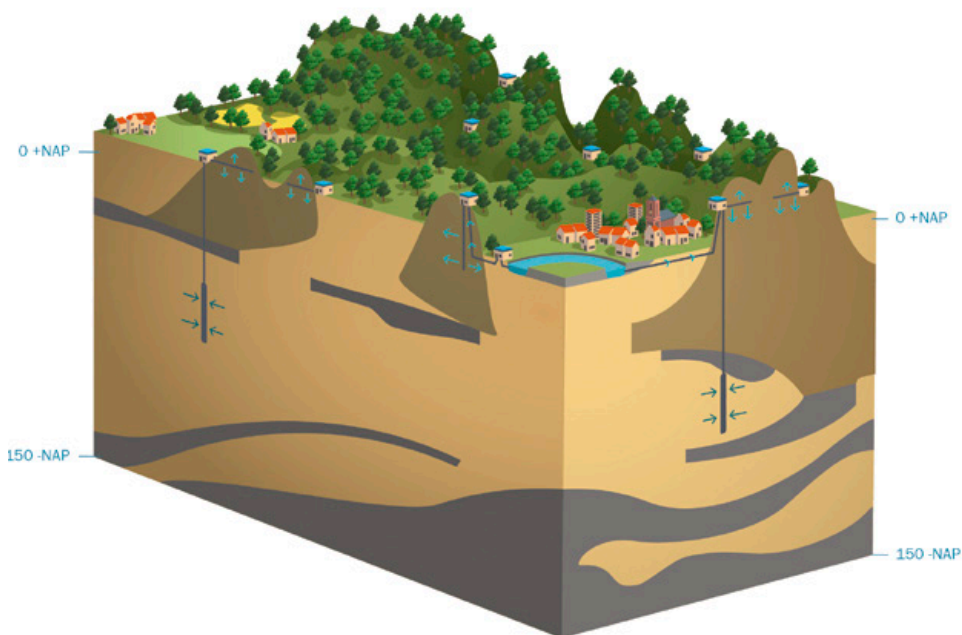
... in een deel ten zuiden van de Maas dat bij het katholieke Groot-Bourgondië hoort en een deel ten noorden van de Maas dat onderdeel is van Scandia-Germanië. De bevolking in het laatste land is al lang niet meer alleen protestant, maar ook islamitisch en areligieus. De wereld kent grote, regionale eenheden met elk zo'n 250-1000 miljoen inwoners en enkele regio's zijn met hun gemiddelde welvaartsniveau naast Europa en Noord-Amerika gekomen. De Europese economie draait niet meer op groei, maar combineert oude tradities en innovatie.

Het noordelijk deel van Nederland is de gasrotonde van Europa geworden. De eigen gasvoorraden zijn nagenoeg uitgeput, maar de wereld kan niet zonder aardgas als grondstof voor de petrochemische industrie. Het Groningse gasveld fungeert dientengevolge samen met diverse kleine gasvelden als opslagplaats van aardgas uit voornamelijk Qatar, Libië en het nieuwe, liberaal-democratische Rusland. De havengebieden van Rotterdam en de Eemshaven hebben een grote petrochemische industrie, die draait op aardgas.

Biofuel heeft geen doorbraak gekend in de afgelopen tientallen jaren, omdat de landbouwgronden in de wereld gewoonweg nodig zijn voor voedselproductie. De vroegere roep om intensieve landbouw vanuit de landbouwlobby is tot zwijgen gebracht door meerdere epidemieën die waren overgeslagen van dier naar mens. Net als in 2008 met de Q-koortsepidemie in Nederland, zijn de overheden nalatig geweest in het aanpakken van dierenziektes waardoor er in de jaren 2020-2030 grote epidemieën zijn geweest die hun tol hebben geëist van mens en dier. Deze epidemieën werden nog verergerd doordat veel bacteriestammen resistent waren geworden tegen antibiotica door het overmatige gebruik hiervan in de veehouderij: de Europese en Amerikaanse landbouwbodems bleken een broedplaats van resistente bacteriën door het blijven uitrijden van geïnfecteerde mest. Onder leiding van de dochter van Marianne Thieme die in 2040-2044 minister van Landbouw en Dierenwelzijn was en mede door de invloed van het grote islamitische volksdeel, heeft Scandia-Germanië het varken als onrein bestempeld en zijn alle megastallen met varkens opgeheven. In plaats daarvan zijn er koeien- en schapenflats gekomen waar onder gecontroleerde omstandigheden en niet langer grondgebonden melk en vlees op industriële wijze geproduceerd worden.

Windenergie is ook in onbruik geraakt na een piekperiode in de jaren 2020 omdat er maatschappelijk onacceptabel veel dodelijke slachtoffers vielen tijdens de aanleg en het onderhoud. Zonne-energie heeft wel een doorbraak mogen maken en bij bovenmatige elektriciteitsproductie wordt de elektriciteit omgezet in warmte en opgeslagen in de middeldiepe ondergrond. Dit heeft tot resultaat gehad dat de watervoerende pakketten onder de Randstad geheel voor warmte-opslag aangewend worden. Daarnaast wordt er op regionale

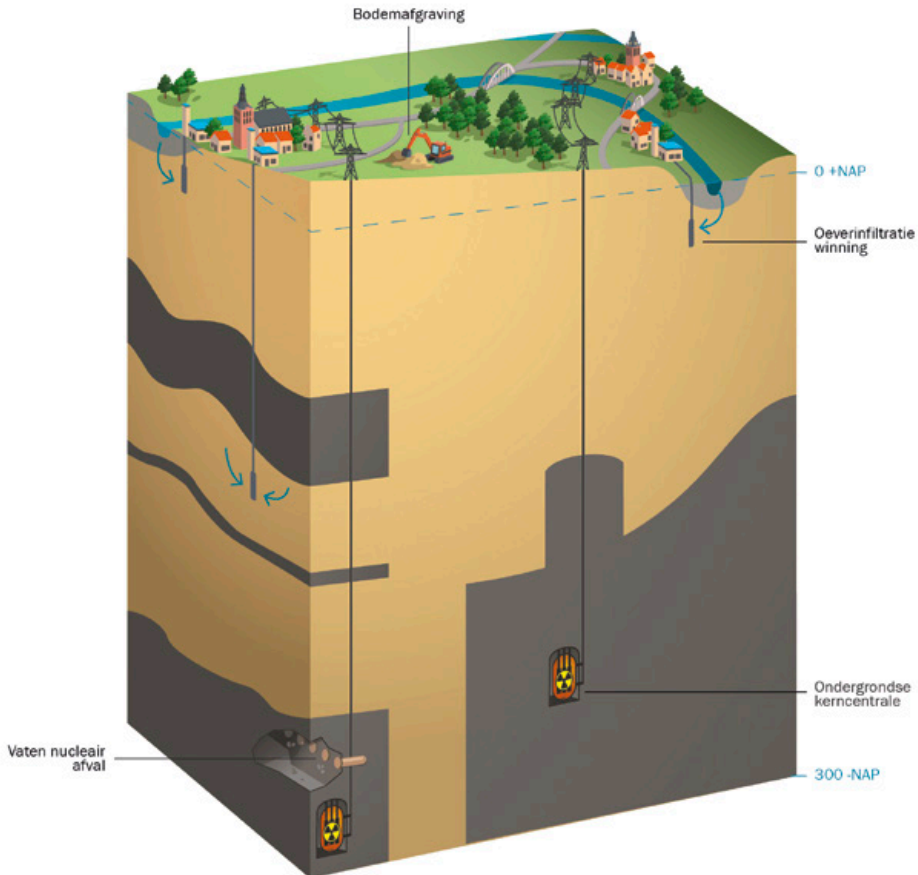
schaal geothermische energie gewonnen uit met name de vroegere olie- en gasvelden in Noord- en Zuid-Holland. Dit wordt uitgevoerd door woningbouw- verenigingen die ook de belangrijkste energieproducenten zijn geworden. Ze combineren dit met stadsverwarmingssystemen en zonnecellen op de daken van de woningen die ze in hun bezit hebben. De productie van warmte is daarmee in het noordelijk deel van Nederland enorm verduurzaamd. De gunstige geologische opbouw met veel dikke watervoerende pakketten heeft daar ook sterk aan bijgedragen.



Figuur 1. Blokdiagram van de zuidelijke Veluwe met grootschalige "managed aquifer recharge" systemen.

De dikke watervoerende pakketten op de Veluwe worden in 2050 al enige tijd grootschalig gebruikt voor "managed aquifer recharge" (MAR; figuur 1). De Veluwe was in Nederland het gebied met de dikste onverzadigde zone en deze zone wordt nu als buffer gebruikt voor regionale opslag van drinkwater. Deze praktijk is in zwang geraakt door het Nederlandse deltaprogramma uit de jaren 2010-2020 waarin naast waterveiligheid toenemende aandacht ontstond voor watervoorziening: Nederland-Waterland propageerde MAR-systemen in het buitenland en als voorbeeld werd besloten om het grootste MAR-systeem ter wereld op de Veluwe aan te leggen. De werkelijke klimaatveranderingen blijken in 2050 echter beduidend minder groot te zijn dan voorspeld in de jaren 2010, waardoor er nu gereede twijfel is of de enorme investeringen, die met het MAR-systeem gepaard gingen wel gerechtvaardigd zijn geweest. Een voordeel is wel dat de Noord-Nederlandse drinkwatersector een enorme buffer heeft in geval het oppervlaktewater dusdanig verontreinigd

raakt met antropogene verontreinigingen dat de beschikbare zuiveringstechnieken het water niet voldoende kunnen zuiveren. Al 40 jaar is er namelijk discussie gaande tussen de drinkwatersector, de chemische industrie en de politiek over lozingen van telkens nieuwe chemische stoffen in het watersysteem. Dit dossier is daarmee even weerbarstig geworden als het fosfaatdossier. Maar het is natuurlijk ook logisch dat een dossier “nieuwe verontreiniging” nooit af te sluiten valt.



Figuur 2. Blokdiagram van oostelijk Brabant en noordelijk Limburg met oeverinfiltratiesystemen naast traditionele grondwateronttrekkingen, ondergrondse kerncentrales en bodemaafgravingen voor export van nutriënten richting de Middellandse Zee.

Hoe anders is dit allemaal in het zuidelijk deel van voormalig Nederland (figuur 2). Door gelobby vanuit het vroegere Frankrijk speelt nucleaire energie een grote rol in Groot-Bourgondië. Wel zijn er enkele grote veranderingen opgetreden. Na nog een Fukushima-achtige ramp in de wereld, is in Groot-Bourgondië besloten om nucleaire centrales, met minder geproduceerd vermogen dan traditioneel, ondergronds te bouwen. Een knelpunt was hier-

bij de koeling van deze centrales, maar de keuze voor ondergrondse veiligheid heeft tot innovatieve koeltechnieken geleid: de centrales zijn bijvoorbeeld integraal opgenomen in lokale warmte/koude systemen. Daarnaast streeft men er naar om energieproductie en berging van het langlevende radioactieve afval te combineren op eenzelfde plaats. Dit heeft er toe geleid dat er meerdere nucleaire faciliteiten zijn gebouwd in de Brabantse ondergrond: aan de hand van een "stel-dat analyse", zoals gebruikelijk in de nucleaire industrie, werden vanuit hoofdstad Parijs de diepe kleilagen in de Brabantse ondergrond geselecteerd als geschikte locaties voor veilige opwekking van elektriciteit en opslag van radioactief afval. De berging van het historische Nederlandse radioactieve afval is hiermee ook met circa 70 jaar naar voren gehaald: de kosten hiervoor waren groot, maar relatief gering tegenover de investeringen voor ondergrondse nucleaire centrales.

Ondanks de dierenepidemieën speelt de varkensveehouderij hier nog altijd een belangrijke rol: Bourgondisch Zuid-Europa houdt vast aan zijn cultuur van hammen, salami's en worsten en daarom weigert de bevolking afstand te nemen van varkensvlees. Om milieuredenen wordt Latijns Amerikaanse soja echter niet meer gebruikt als varkensvoer: men gebruikt nu zeewier dat op aquacultuur-boerderijen in de Middellandse Zee wordt gekweekt. De fosfaatverzadigde bodems van Noord-Brabant en Limburg worden gebruikt als meststof in deze boerderijen op zee: fosfaat is inmiddels om geopolitieke redenen een schaarse grondstof geworden, de afspoeling van fosfaat naar het oppervlaktewatersysteem bleef tientallen jaren onacceptabel hoog in Zuid-Nederland en door afgraving van de toplaag en transport naar Zuid-Europa ontstaat een zogenaamde win-win situatie.

In tegenstelling tot Noord-Europa heeft de klimaatverandering Zuid-Europa wel geraakt. Tenminste, dat zeggen politici. Er was ook tientallen jaren wanstaltig waterbeheer in landen als Spanje en Italië. Gebrek aan regelgeving gaf een groep oligarchen de kans om steeds meer hotels en golfbanen langs de Mediterrane kusten te bouwen, met als gevolg een enorme over-exploitatie van de grondwatervoorraden. Het bereiken van de doelstellingen van de Kaderrichtlijn Water voor 2027 bleek in bijna heel Europa onmogelijk met uitzondering van Denemarken. Er wordt nu maximaal gebruik gemaakt van oeverinfiltratiewinningen waaronder langs de Maas. Dit geeft continue conflicten met Scandia-Duitsland, want de Maas als grensrivier is in de zomerperiode nagenoeg opgedroogd alvorens hij de zuidwestelijke delta bereikt.

Wat een onzin is dit allemaal, zult u misschien denken. Maar als u gevraagd was om in 1950 een essay te schrijven over water- en bodembeheer in 1985 had u dan de Oosterscheldekering voorspeld? Of dat zich onder Groningen één van de grootste aardgasvoorraden ter wereld zou bevinden? Vanuit technisch-natuurwetenschappelijk perspectief is het bovenstaande zonder twijfel binnen enkele tot enkele tientallen jaren mogelijk; zie hiervoor bijvoorbeeld onderstaande referenties. Beseft dient te worden dat die Oosterscheldekering meer het resultaat is van een politiek compromis in het kabinet Den Uyl dan een rationeel besluit van Rijkswaterstaat.

Bodem- of waterbeheer houdt het midden tussen fact free en fact based politics. Verwacht daarom niet alleen redelijkheid bij de totstandkoming van dit beheer in de toekomst. Verwacht het onverwachte. Denk daarbij aan Groningen en hanteer het voorzorgsbeginsel bij het implementeren van het onverwachte.

## **Jasper Griffioen<sup>7</sup>**

TNO / Universiteit Utrecht

jasper.griffioen@tno.nl

---

<sup>7</sup> Inspiratiedocumenten en achtergrondinformatie (websites bezocht op 1 november 2015)

- Burgherr P, Eckle P, Hirschberg S (2012). Comparative assessment of severe accident risks in the coal, oil and natural gas chains. *Reliability Eng. System Safety* 105: 97–103.
- Burgherr P, Hirschberg S (2014). Comparative risk assessment of severe accidents in the energy sector. *Energy Policy* 74: s45-56.
- CNN (2012). U.S. backs project for small nuclear reactors. <http://edition.cnn.com/2012/11/21/us/small-nukes/>.
- Groene Rekenkamer (2013). De dodelijke keerzijde van windenergie. 10 p.
- Kevin J, Forsberg KJ, Reyes A, Wang B, Selleck EM, Sommer MOA, Dantas G (2012). The Shared Antibiotic Resistome of Soil Bacteria and Human Pathogens. *Science* 337: 1107-1111.
- Kharecha PA, Hansen JE (2012). Prevented Mortality and Greenhouse Gas Emissions from Historical and Projected Nuclear Power. *Environ. Sci. Technol.* 47: 4889–4895.
- Knapp CW, Dolfing J, Ehlert PAI, Graham DW (2010). Evidence of increasing antibiotic resistance gene abundances in archived soils since 1940. *Environ. Sci. & Technol.* 44: 580-587.
- NOS (2012). Ombudsman kritisch over Q-koorts. <http://nos.nl/artikel/385625-ombudsman-kritisch-over-q-koorts.html>.
- Sovacool BK, Andersen R, Sorensen S, Sorensen K, Tienda V, Vainorius A, Schirach OM, Bjørn-Thygesen F (2015). Balancing safety with sustainability: assessing the risk of accidents for modern low-carbon energy systems. *J. Cleaner Production*, in press.
- VARA (2014). Mest is verspreider van Q-koorts. [http://vroegevogels.vara.nl/Nieuws-detail.1006.0.html?tx\\_ttnews\[tt\\_news\]=368742&cHash=44893e84a485b356d92db7db2f276448](http://vroegevogels.vara.nl/Nieuws-detail.1006.0.html?tx_ttnews[tt_news]=368742&cHash=44893e84a485b356d92db7db2f276448)
- WindWorks (2013). A Summary of Fatal Accidents in Wind Energy. [http://www.wind-works.org/cms/index.php?id=43&tx\\_ttnews%5Btt\\_news%5D=414&cHash=5a7a0eb3236dd3283a3b6d8cf4cc508b](http://www.wind-works.org/cms/index.php?id=43&tx_ttnews%5Btt_news%5D=414&cHash=5a7a0eb3236dd3283a3b6d8cf4cc508b)
- WORLD (2014). Could buried nuclear reactors be a safer energy solution? [http://www.worldmag.com/2014/04/could\\_buried\\_nuclear\\_reactors\\_be\\_a\\_safer\\_energy\\_solution](http://www.worldmag.com/2014/04/could_buried_nuclear_reactors_be_a_safer_energy_solution).
- Zhang J, Kitazawa D, Yang C (2015). A numerical modeling approach to support decision-making on design of integrated multitrophic aquaculture for efficiently mitigating aquatic waste. *Mittig. Adapt. Strateg. Glob. Change DOI* 10.1007/s11027-015-9652-1.



# ER WAS EENS ... EEN DROGE ZOMER IN 2050

## Waterschaarste blijkt stimulans voor innovaties drinkwaterproductie

De komende decennia zullen we steeds vaker te maken krijgen met droge zomers. Grondwater van een goede kwaliteit vormt een steeds schaarser goed. Duurzaam beheer van bodem en grondwater is noodzakelijk om dreigende tekorten aan zoet water op te vangen. Daarnaast biedt een slimme inzet van technologie nieuwe mogelijkheden. Hiermee kan in tijden van waterschaarste ook van bronnen met een slechtere kwaliteit toch goed drinkwater worden geproduceerd. Ik droom even weg en stel me voor hoe zo'n droge zomer in 2050 er in Nederland uit zal zien.

In 2050 ben ik, als het een beetje meezit, een kwieke oma, nog lang niet aan het eind van de gemiddelde levensverwachting, die dan bijna 90 jaar zal zijn<sup>8</sup>. In augustus dat jaar is het tropisch warm in Nederland. Al ruim een maand is er nauwelijks regen gevallen en de temperatuur stijgt bijna dagelijks tot boven de 30 graden. De stranden liggen vol; Nederlanders genieten van een heerlijke zomervakantie in eigen land. En hierbij wordt veel, heel veel water gebruikt.

In het rivierengebied waar ik woon, besproeien boeren hun akkers met grote waterkanonnen. Het water komt uit de Lek, die historisch laag staat. Door speciale laagwater-vaargeulen is er nog steeds scheepvaart mogelijk. Er is ook voldoende water om de akkers te besproeien. De maïs en aardappelen staan er mooi groen bij.

Dat geldt niet voor de gazons rondom de huizen. Geel verkleurd doen ze denken aan mediterrane Frankrijk. Via kranten en tv wordt opgeroepen om zuinig te zijn met leidingwater. Besproeien van de tuinen is niet toegestaan.

Het drinkwatergebruik is de afgelopen decennia sterk toegenomen. De groei van 30% is vooral veroorzaakt door huishoudens, ondanks de verbeterde efficiëntie van huishoudelijke apparaten. Door stijgende temperaturen en langere droge periodes is de watervraag voor tuinieren en recreatie rond huis sterk toegenomen. Dit was begin 21<sup>e</sup> eeuw al voorspeld, maar nu blijken we te maken te hebben met het meest extreme toekomstscenario van destijds.<sup>9 10 11</sup>

<sup>8</sup> Stoeldraaijer L, Duin C van, Janssen F (2012). Bevolkingsprognose 2012–2060: Model en veronderstellingen betreffend de sterfte. CBS, Den Haag, Heerlen.

<sup>9</sup> Wuijts S, Büscher CH, Zijp MC, Verweij W, Moermond CTA, Roda Husman AM de, Tangena BH, Hooijboer A (2011). Toekomstverkenning drinkwatervoorziening in Nederland. RIVM Rapport 609716001/2011 [www.rivm.nl](http://www.rivm.nl).

<sup>10</sup> Wuijts S, Grinten E van der, Meijers E, Bak-Eijsberg CI, Zwolsman JGG (2013). Impact klimaat op oppervlaktewater – Van knelpunten naar maatregelen. RIVM Rapport 609716007/2013 [www.rivm.nl](http://www.rivm.nl)

<sup>11</sup> Aa NGFM van der, Tangena BH, Wuijts S, Nijss ACM de (2015). Scenario's drinkwatervraag 2040 en beschikbaarheid bronnen: Verkenning grondwatervoorraden voor drinkwater. RIVM Rapport 2015-0068. [www.rivm.nl](http://www.rivm.nl).

In tegenstelling tot de Lek is scheepvaart op de Maas niet mogelijk. De lage waterstanden zorgen daar voor waterschaarste. De industrie heeft niet voldoende koelwater beschikbaar. Door een slimme verbinding met de Waal wordt extra water richting de Maas aangevoerd. Hierdoor kan Maaswater nog steeds gebruikt worden voor de drinkwatervoorziening, maar de capaciteit van het kanaal is beperkt. Door de geringe aanvoer van regenwater uit België en Frankrijk, is de invloed van afvalwater van rioolwaterzuiveringsinstallaties groot. Hierdoor verslechtert de kwaliteit van het Maaswater, maar veel minder dan men verwachtte in 2010<sup>12</sup>. De afgelopen decennia is er namelijk hard gewerkt aan verbeteringen van industriële en rioolwater-zuiveringsinstallaties. Hierdoor wordt meer dan 80% van microverontreinigingen zoals restanten van geneesmiddelen en consumentenproducten uit het afvalwater verwijderd. Afvalstromen worden zoveel mogelijk gerecycled en aangewend als grondstof voor nieuwe producten. Het riolslib levert biogas en restwarmte wordt gebruikt voor stadsverwarming. Het gezuiverde afvalwater, en de rivieren waarop het wordt geloosd, zijn veel schoner geworden. Dit ondanks de sterk toegenomen consumptie van geneesmiddelen in Nederland in de periode 2015-2050 die was voorspeld ten gevolge van de vergrijzing<sup>13</sup>. Nederland heeft lang gediscussieerd of het wel nodig was om het afvalwater verder te zuiveren, maar nu dit eenmaal is gerealiseerd krijgen we steeds vaker het verzoek om onze waterkwaliteitskennis in te zetten in buitenlandse projecten.

We dachten in Nederland altijd dat we teveel water hadden. In de eerste helft van de 21<sup>e</sup> eeuw zijn overal langs de grote rivieren dijken verhoogd of speciale hoogwatergeulen aangelegd. Maar droge zomers met waterschaarste zijn de afgelopen jaren normaal geworden. Iedereen beseft dat we zuiniger moeten omgaan met ons water. Drinkwaterbedrijven hebben daarvoor verschillende strategieën ontwikkeld. In het westen van Nederland is oppervlaktewater nog altijd de voornaamste bron voor drinkwater. Drinkwaterbedrijven in dit deel van Nederland hebben de afgelopen decennia geïnvesteerd in geavanceerde zuiveringstechnieken, waardoor ze nu minder afhankelijk zijn van de kwaliteit van hun bronnen. Deze technologische oplossing was aanvankelijk erg duur en ook minder duurzaam, maar door de inzet van windenergie zijn de verschillen met drinkwaterproductie uit schoon grondwater klein geworden<sup>14</sup>. Ook de kosten zijn snel gedaald in de afgelopen jaren, mede omdat deze zuiveringstechnieken wereldwijd steeds meer worden ingezet. In droge gebieden zoals Australië, het Zuidwesten van de VS en het Midden-Oosten staan ontziltingsinstallaties, die op grote schaal drinkwater produceren uit zeewater, brak grondwater of zelfs rioolwater. In Nederland is dit niet nodig, aangezien er het grootste gedeelte van het jaar voldoende goede kwaliteit zoet water beschikbaar is. In periodes met waterschaarste kan echter ook in ons land brak grondwater worden ingezet voor de productie van drinkwater. De drinkwaterbedrijven doen op deze manier aan flexibel bron-

<sup>12</sup> Wuijts S, Büscher CH, Zijp MC, Verweij W, Moermond CTA, Roda Husman AM de, Tangena BH, Hooijboer A (2011). Toekomstverkenning drinkwatervoorziening in Nederland. RIVM Rapport 609716001/2011 [www.rivm.nl](http://www.rivm.nl).

<sup>13</sup> Aa NGFM van der, Kommer GJ, Montfoort JE van, Versteegh JFM (2011) Demographic projections of future pharmaceutical consumption in the Netherlands. *Water Science & Technology*, 2011. 63(4): p. 825-831.

<sup>14</sup> Zijp M, Laan H van der (2015) Levenscyclusanalyse van een nieuw drinkwaterproductieproces. In: H2O nr. 27, 30 september 2015.



beheer. Afhankelijk van de beschikbaarheid kunnen zij schakelen tussen verschillende waterbronnen. Ook het IJsselmeer is een groot zoetwaterbassin, dat in tijden van nood kan worden afgetapt. Hiervoor zijn distributieleidingen aangelegd naar enkele centrale punten in Nederland. Tevens zijn er in het duingebied grote buffers van zoet grondwater. Gedurende de natte periodes van het jaar worden deze weer aangevuld met voorgezuiverd rivierwater.



*Figuur 1. Een droge zomer, laag waterpeil in de rivier. Bron: mediatheek Rijksoverheid.*

Op de hoge en droge zandgronden in het oosten en zuiden van Nederland heeft het plat-teland de afgelopen decennia een metamorfose ondergaan. In alle grondwaterbeschermingsgebieden rondom drinkwaterwinningen zijn natuurgebieden en parken gerealiseerd. De locaties en dieptes van de winputten zijn geoptimaliseerd, zodat verdrogingseffecten op omringende natte natuurgebieden beperkt zijn. Recreatie en extensieve vormen van landbouw gaan hand in hand met drinkwaterwinning. In deze wateroogstgebieden<sup>15</sup> dragen alle bewoners en gebruikers hun steentje bij aan duurzaam beheer. Boeren doen

<sup>15</sup> Term wateroogstgebied ontleend aan Omgevingsvisie provincie Drenthe (2014).

behalve aan landbouw ook aan bodem- en grondwaterbeheer. Ze worden gestimuleerd én beloond voor hun bijdrage aan een goede bodem- en grondwaterkwaliteit. Drinkwaterbedrijven hoeven grondwater daardoor nauwelijks te zuiveren om het geschikt te maken voor consumptie.

Aangezien er nauwelijks oppervlaktewater is op de hoge zandgronden, wordt in natte tijden zoveel mogelijk regenwater vastgehouden en geïnfiltreerd in de bodem, soms aangevuld met voorgezuiverd afvalwater van rioolwaterzuiveringsinstallaties. Om overexploitatie van zoet grondwater te voorkomen, wordt tevens brak grondwater opgepompt en ontzilt. Samen met regenwater dat terecht komt op de daken van landbouwschuren wordt het opgeslagen in grote bassins, die op enkele grote boerderijen zijn aangelegd als buffer voor beregeningswater. Op deze manier is ook tijdens droge zomers voldoende water beschikbaar.

Inmiddels is het belang ontdekt van de grote voorraden zoet grondwater van zeer hoge kwaliteit, die zich op grote dieptes in de Nederlandse ondergrond bevinden<sup>16</sup>. Deze 'verborgen schat' onder onze voeten is honderden tot duizenden jaren oud en zonder zuivering geschikt als drinkwater. Deze voorraden zijn een schaars goed en hebben de status van erfgoed gekregen. Ze mogen alleen worden gebruikt in perioden van extreme droogte en watertekorten of in (extreme) crisissituaties.

In 2050 wordt een substantieel deel van het Nederlandse drinkwater geproduceerd uit wisselende bronnen. Eenvoudige zuivering van vrijwel schoon grondwater of oppervlaktewater voldoet niet om in de totale Nederlandse drinkwaterbehoefte te voorzien. Maar de zuiver technologische wending die verschillende experts in 2013 voorspelden om drinkwater te produceren, is ook niet uitgekomen. In periodes met tekorten kan door slimme inzet van geavanceerde zuiveringstechnieken geschakeld worden naar bronnen met een slechtere kwaliteit of zelfs brak grondwater. Duurzame bescherming en beheer van ons grond- en oppervlaktewater vormt in 2050 nog altijd de basis voor onze drinkwaterproductie.

### **Monique van der Aa**

RIVM

monique.van.der.aa@rivm.nl

---

<sup>16</sup> Broers HP, Stuurman R, Lange WJ de (2014). Een aanzet tot de begrenzing van Nationale Grondwater Reserves. Deltares.

## HET BELANG VAN HETEROGENITEIT VOOR *IN-SITU* BIOGEOENGINEERING

Voor de gemiddelde Nederlander is de bodem een gegeven waar zelden aandacht voor is. Als we maar droge voeten hebben... Wat er verder allemaal gebeurt in de bodem en ondergrond doet er voor veel mensen verder vrijwel niet toe. Dit was de afgelopen 3 decennia wel anders voor de overheid. Het opruimen van bodemverontreiniging is een dominant en kostbaar dossier geweest en de investeringen in dit dossier hebben geleid tot het feit dat Nederland wereldwijd voorop heeft gelopen bij het opruimen en bestrijden van bodemverontreiniging. Het bodembeleid heeft na dertig jaar nu wel zijn definitieve vorm gekregen en de uitvoering daarvan is gedecentraliseerd. Het wachten is op de invoering van de Omgevingswet die dit verder gaat regelen. Den Haag zal steeds minder aandacht hoeven te geven aan de bodem is de verwachting, het opheffen van de Technische commissie bodem (TCB) en de vergaande decentralisaties zijn geheel in lijn met deze verwachting.

Helaas zal blijken dat dit een illusie is. De bodem blijft aandacht vragen, centraal en decentraal. Een voorbeeld is dat bodemdaling in grote delen van ons land meer een meer tot problemen leidt, enerzijds veroorzaakt door het droog houden van de veenweidegebieden met als gevolg inklinking en oxidatie van het veen (een vicieuze cirkel) en anderzijds bodemdaling veroorzaakt door het instorten van ondergrondse ruimtes ontstaan door het winnen van grondstoffen in het nabije verleden zoals de mijnbouw in Limburg, de zoutwinning in Twente en Friesland, en heel actueel de gaswinning in Groningen en onder de Waddenzee (een na-ijl effect). Bodemdaling heeft een groot aantal afgeleide gevolgen: als Nederland steeds lager komt te liggen wordt bescherming tegen hoogwater steeds belangrijker en steeds moeilijker. Het herstellen van schade aan wegen, riolering, funderingen, bruggen, dijken, kanalen zal een steeds groter deel van het nationaal budget gaan eisen. Kennisontwikkeling over de bodem blijft van groot belang om deze problemen in Nederland op een verantwoorde en -met het oog op de toekomst- duurzame manier op te kunnen lossen. De TCB heeft in het afgelopen decennium regelmatig aandacht gevraagd voor de ecosysteemdiensten van de bodem, omdat specialistische kennis over deze diensten kansen biedt op kosteneffectieve oplossingen voor veel van deze problemen. Die aandacht is zeker nodig, maar niet voldoende om ecosysteemdiensten ook praktisch te kunnen benutten.

### **In-situ biogeoengineering: benutten van de ondergrondse heterogeniteit**

We moeten ook technologie ontwikkelen waarmee de ecosysteemdiensten van de bodem optimaal kunnen worden ingezet. Deze technologie, *in-situ biogeoengineering*, is gebaseerd op het beïnvloeden van de ondergrondse heterogeniteit op verschillende schaalniveaus zodat processen die verantwoordelijk zijn voor de ecosysteemdiensten worden gestimuleerd. In het NOBIS programma (Nederlands Onderzoeksprogramma Biotechnologische *In-Situ* Saneringen) is twintig jaar geleden een aanzet gegeven aan deze ontwikke-

ling. Ik herinner mij een workshop die we in het kader van NOBIS hebben gehouden over heterogeniteit, waarin de problemen van het saneren van een heterogene bodem centraal stonden. De conclusie destijds was dat heterogeniteit in de ondergrond een lastig gegeven is waar niet zoveel aan te doen valt, je moet het accepteren en bij toepassen van *in-situ* technologie daar rekening mee houden.

Tegenwoordig heb ik een andere mening, heterogeniteit in de ondergrond is een zegen, als we *in-situ* technologie willen ontwikkelen en toepassen dan proberen we juist de heterogeniteit te vergroten. Heterogeniteit in de bodem leidt tot de ontwikkeling van gradienten in, onder meer, water en gasdrukken, chemische concentraties, dichtheid en porositeit. De aanwezigheid van dergelijke gradiënten leidt tot stroming van water en gas en transport van daarin opgeloste stoffen in de ondergrond, wat een essentiële levensvoorwaarde is voor een hele levensgemeenschap van microorganismen (het "microbioom"). De aanwezigheid van dit microbioom beïnvloedt de lokale bodemeigenschappen. Sterke positieve en negatieve terugkoppelingen leiden tot veranderingen in het ondergrondse systeem waardoor lokaal stroming en transport versterkt of verzwakt kunnen worden. Zonder heterogeniteit zullen er geen gradiënten zijn, is er geen transport en daardoor kunnen er geen (biologische) processen optreden en is er sprake van een statisch geheel. Iets dat in evenwicht is, is dood.

Een levend systeem is dynamisch, complex en gelukkig ook robuust. Heterogeniteit maakt dat de bodem een dynamisch systeem is, zij het één waarin veel processen traag verlopen. Een regendruppel die in de bodem infiltreert kan honderden tot duizenden jaren in de ondergrond stromen voordat hij uiteindelijk weer in het oppervlaktewater terecht komt. De trage tijdschaal van de bodem is voor de mens maar moeilijk te bevatten. De natuurlijke tijdschaal van de mens is een mensenleven, uitgedrukt in termen van generaties van dertig jaar. Het gevolg is geweest dat de natuurlijke ecosysteemdiensten van de ondergrond niet of nauwelijks zijn opgemerkt, en zeker niet herkend als effectieve gereedschappen om bepaalde aspecten van de ondergrond te benutten. In het domein van de geotechniek moeten projecten resultaat laten zien op korte termijn, waarbij een project van enkele jaren als zeer lang wordt ervaren. Het accepteren van en het leren om te gaan met de trage tijdschaal van de ondergrond maakt het mogelijk om kennis van ecosysteemdiensten nuttig in te zetten. In de volgende paragrafen wil ik een aantal voorbeelden geven hoe *biogeoengineering* een bijdrage kan leveren aan het oplossen van een aantal grote uitdagingen waar de mens op dit moment mee wordt geconfronteerd.

### Stortplaatsen

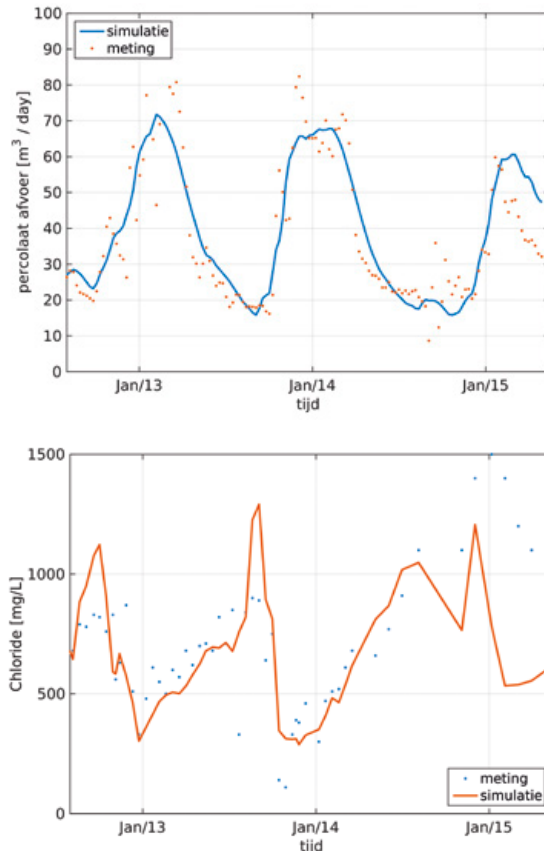
Stortplaatsen hebben in het verleden een belangrijke rol gespeeld in het afvalbeheer. In Europa en Nederland in het bijzonder, is door het introduceren van het afvalbeleid en de gedachte van een circulaire economie de hoeveelheid afval dat eindigt op een stortplaats zeer sterk gedaald. Wereldwijd echter, eindigt vijftientig procent van al het afval nog steeds op een stortplaats. Ondanks de sterke afname in de hoeveelheid gestort afval, zullen in Nederland stortplaatsen altijd een rol blijven spelen in het afvalbeleid. Er zal altijd

een afvalstroom blijven die we niet op een verantwoorde manier in de economische cyclus kunnen houden, doordat door herhaalde recycling de concentraties van bepaalde toxische stoffen in het materiaal onacceptabel hoog worden of omdat we er verder niets meer mee kunnen (bodemreinigingsresidu, asbest). Een stortplaats heeft dus een functie als *final sink* voor die stoffen die we voor altijd uit ons economische cyclus willen houden. Nazorg van stortplaatsen is van groot belang om te voorkomen dat er onacceptabele emissies naar de omgeving zullen optreden. Eind jaren tachtig van de vorige eeuw was de gedachte dat het waterdicht inpakken van een stortplaats de beste oplossing voor dit probleem is. Echter, waterdicht inpakken van een stortplaats vereist eeuwigdurende nazorg, we zullen voor altijd moeten zorgen dat de afdichtende lagen hun functionaliteit blijven behouden. En altijd duurt wel heel erg lang.

De afgelopen jaren hebben we in het kader van het project "Introductie Duurzame nazorg van Stortplaatsen" (IDS) onderzocht op welke wijze het mogelijk is om naar een situatie te komen waarbij actieve nazorg bij stortplaatsen kan worden verminderd en mogelijk zelfs gestopt. Uit dit onderzoek blijkt de aanwezigheid van heterogeniteit in het afvalpakket een zeer belangrijke factor te zijn die bijdraagt aan het beheersen van de emissies uit het afvalpakket. Stortplaatsen in Nederland worden boven de grondwaterspiegel aangelegd op een ondoorlatende onderafdichting. Het waterpeil in de stortplaats wordt beheerd, waarbij er maximaal één meter water mag staan op de onderafdichting. Dit gecombineerd met het feit dat een stortplaats tussen de tien en vijftieng meter hoog kan zijn, betekent dat het afvalpakket voor het grootste deel droog staat. Daarnaast is het zo, dat het afval in een stortplaats zeer heterogeen is; op korte afstand is er een grote variatie aan materialen met grote verschillen in onder andere samenstelling, porositeit, watervasthoudend vermogen en reactiviteit.

Metingen in bestaande stortplaatsen laten zien dat water langs preferentiële stroombanen door het afvalpakket stroomt. Een groot deel van het water heeft slechts een zeer korte verblijftijd in het afval. Er is sprake van een trage uitwisseling tussen het afvalpakket en het stromend water dat door de stort heen beweegt en omdat regenwater schoon is zal preferentiële stroming leiden tot lagere concentraties van verontreinigende stoffen in het percolaat. Dit wordt geïllustreerd in figuur 1, waar we de gemeten en gemodelleerde tijdreeks laten zien van percolaatafvoer (in m<sup>3</sup>/dag) en de chlorideconcentratie voor de stortplaats Braambergen. Wat opvalt is dat de percolaat- afvoer sterk samenhangt met het seizoen, in de winter is de afvoer hoger dan in de zomer. De verklaring hiervoor is de grote verdamping in de zomer, in de winter is er een neerslagoverschot en in de zomer een neerslagtekort. De verklaring voor de dynamiek in chloride concentraties is wat lastiger. Om in het percolaat terecht te komen moet chloride eerst vanuit het immobiele water, aanwezig in de bulk van het afval, naar het mobiele water toe diffunderen, wat een traag proces is. Als het mobiele water een lange verblijftijd in het afval heeft dan is er veel tijd voor de chloride om te diffunderen, wat tot hogere concentraties leidt. Een korte verblijftijd leidt tot lage concentraties. In de tijdreeks van de chlorideconcentraties zien we dat er in de zomer sprake is van een lange verblijftijd in vergelijking met die in de winter. De

verblijftijd van water in het afvalpakket is van belang voor de snelheid van de biologische afbraak in het afvalpakket, omdat deze sterk afhankelijk is van transport door zowel diffusie als stroming. Inzicht in de heterogeniteit van een stortplaats vergroot ons vermogen om voorspellingen te doen over het toekomstig gedrag van de emissies. Gerichte ingrepen in de heterogeniteit van het afvalpakket maken het mogelijk om de biologische afbraak te stimuleren en de concentraties in het percolaat te beheersen. Dit is van groot belang als we naar een situatie willen waarbij de nazorg bij stortplaatsen duurzaam kan worden geminimaliseerd.



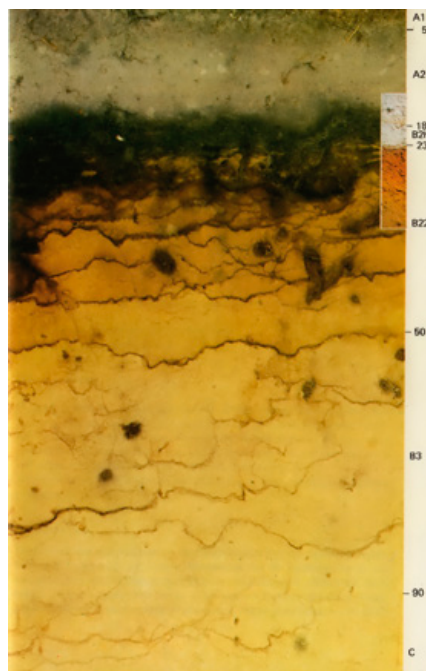
Figuur 1. Gemeten en gemodelleerde tijdreeks van percolaatafvoer (in m<sup>3</sup>/dag, boven) en de chlorideconcentratie (onder) voor de stortplaats Braambergen.

### Verstedelijking

Wereldwijd gaan meer en meer mensen wonen in steden, die ontstaan in natte delta's vergelijkbaar met die van Nederland. Dit vergt enorme investeringen om de steden te beschermen tegen hoogwater, om de gevolgen van bodemdaling te beheersen en om het bouwen van infrastructuur in en op slappe bodems mogelijk te maken. De uitdaging waar we voor staan is dit op een economisch en ecologisch duurzame manier uit te voeren.

Al een aantal jaren doen we in het kader van *biogeoengineering*, onderzoek naar de ontwikkeling van *in-situ* technologie om juist die ecosystemendiensten te optimaliseren waar we behoefte hebben. Een voorbeeld is het verbeteren van het draagvermogen door het *in-situ* stimuleren van de natuurlijke microbiologie en chemische omstandigheden, zodat kalk zal neerslaan. Een ander voorbeeld is het beperken van corrosie door actief de ecologische situatie rondom een pijp of een damwand te beïnvloeden, waarmee biocorrosie versterkende micro-organismen geen kans krijgen.

De inspiratie voor mijn meest recente project komt van het proces dat verantwoordelijk is voor de vorming van podzolbodems, waarvan een profiel is te zien in figuur 2. Op deze van nature arme zandgronden, ontwikkelde zich in de tijd een organische laag als gevolg van bladval. Langzame biologische afbraak in deze laag leidt tot verzurende omstandigheden en de vorming van opgelost organisch materiaal (*dissolved organic material, DOM*). Dit DOM spoelt in de grond en adsorbeert metaalkationen uit de bovenste laag van de bodem waardoor deze kationen uitspoelen. Met het stromende grondwater spoelen deze DOM-metaalcomplexen naar diepere lagen en door een complex samenspel van metaal/koolstofverhouding, pH en de lokale gelaagdheid in de grond slaan deze DOM-metaal complexen neer. Deze zeer resistente neerslag blijkt de waterdoorlatendheid van de bodem lokaal aanzienlijk te verminderen.



Figuur 2. Profiel van een podzolbodem. Uit: F. Kuipers, *Bodemkunde* (<https://www.boekenwebsite.nl/geologie/bodemkunde-0>).

Een te grote doorlatendheid van de grond is in een groot aantal gevallen problematisch. Bijvoorbeeld in het rivierengebied, waar de gelaagdheid in de ondergrond heel complex is door het feit dat de rivieren in het verleden vrij konden meanderen. Ondiepe goed doorlatende zandlagen vormen een bedreiging voor de stabiliteit van dijken, doordat deze lagen een kortsluitroute kunnen vormen bij hoogwater. Dit kan leiden tot opbarsting van de bodem achter de dijk of ondergrondse erosie (*piping*). Beide processen kunnen leiden tot het falen van de dijk. Dit risico kan worden verkleind door de doorlatendheid in de laag te verlagen. Dit willen we doen door een situatie te creëren waarbij lagen organische stof en aluminium bovenstrooms van de zandlaag in de ondergrond worden aangebracht. Met de natuurlijke stroming spoelen DOM-aluminiumcomplexen de zandlaag in waar ze op een bepaalde positie neerslaan. Deze op natuurlijke processen gebaseerde technologie heeft de potentie om tot duurzame en robuuste oplossingen te komen, die vele malen goedkoper zijn dan de traditionele op staal en beton gebaseerde technieken.

### Mijn boodschap

De afgelopen dertig jaar heeft bodem veel in de schijnwerpers gestaan door de aanwezigheid van bodemverontreiniging op een groot aantal plaatsen. Nu de regelgeving af is en procedures en protocollen geïmplementeerd worden is het blijkbaar tijd om de aandacht op andere zaken te richten. Daarmee dreigen we een groot deel de verworvenheden in de periferie van het bodembeleid aan de kant te zetten. De investeringen in drie decennia hebben er toe geleid dat Nederland een ijzersterke onderzoeks- en praktijkreputatie heeft op het gebied van *in-situ* biologische bodemprocessen. Sterker nog, we waren marktleider. Door aandacht en financiering door de overheid, de enige partij, die het risico van het opstarten van zo'n technologische ontwikkeling kan dragen, is een situatie geschapen waarbij verder onderzoeksontwikkeling en praktische toepassing voor markt partijen aantrekkelijk werd. Dat gaf een enorm multiplier effect. Dat zou dus niet alleen voor bodemsanering maar voor andere mogelijkheden van biogeoengineering moeten gebeuren.

Het is juist deze specialistische kennis en vaardigheid in het beïnvloeden van ondergrondse natuurlijke systemen, die ons in staat stelt om innovatieve technieken te ontwikkelen, waarmee het potentieel van de in de ondergrond aanwezige ecosysteemdiensten kan worden benut. Dit leidt tot oplossingen die robuust zijn door de aanwezigheid van terugkoppelingen en een grote mate van redundantie in het bodemsysteem. Doordat we het ecosysteem hebben ingezet voor het realiseren van de oplossing hebben we een intrinsiek zelf herstellende oplossing gerealiseerd. Kalk dat is neergeslagen kan weer oplossen, maar zolang we de condities voor neerslag in stand houden, zal het ook weer neerslaan. Op microbiologische processen gebaseerde coatings zijn veelal zelf herstellend, vooral als het corrosieproces een deel van de stoffen levert die noodzakelijk zijn voor de vorming van de *coating*. *Biogeoengineering* is een aanpak waarin we de kracht van een levend systeem benutten en zelfs versterken!

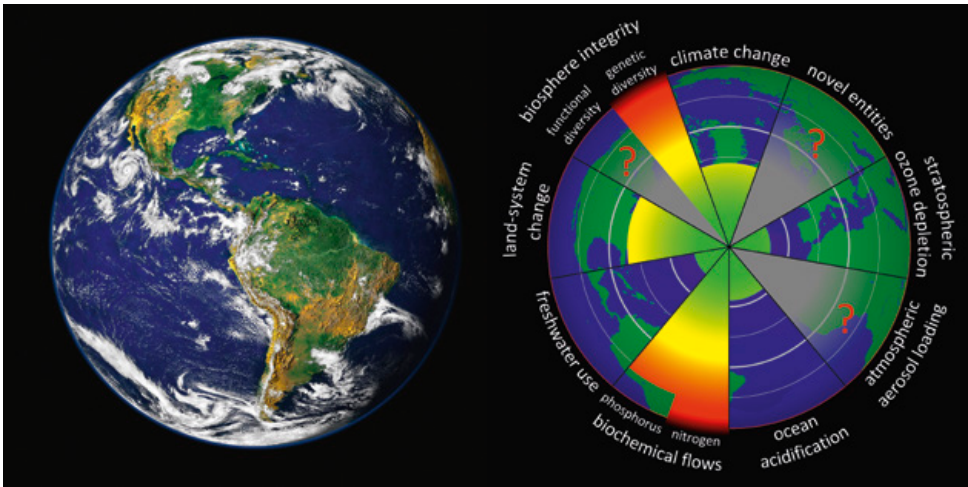
### Timo J. Heimovaara

Technische Universiteit Delft  
t.j.heimovaara@tudelft.nl



# BODEMVERONTREINIGING EN PLANETAIRE GRENZEN

Het begrip 'planetary boundaries' werd in 2009 door Rockström en collega's<sup>17</sup> geïntroduceerd. Het overschrijden van planetary boundaries (PB) als gevolg van menselijk handelen verstoort de in het Holoceen ontstane stabiele omstandigheden waaronder de mensheid zich sindsdien kon ontwikkelen en vormt daarmee een bedreiging van de levensvatbaarheid van de Aarde. Eén van de negen PB die Rockström et al. definieerden was chemische verontreiniging. Volgens dit idee heeft de planeet Aarde een eindige capaciteit om met chemische verontreiniging om te gaan. Het in toenemende mate globale karakter van chemische verontreiniging vraagt om een globale aanpak en internationaal gecoördineerde maatregelen<sup>18</sup>.



Figuur 1. Planetary boundaries (rechts) van het systeem Aarde (links) kunnen overschreden worden.

Persson en collega's (2013) hebben vervolgens drie voorwaarden voorgesteld waaraan chemische verontreiniging zou moeten voldoen wilde het een bedreiging voor PB vormen<sup>19</sup>. Deze drie voorwaarden zijn:

1. De stof of het mengsel van stoffen verstoort een vitaal proces van het systeem Aarde;
2. Het verstorende effect wordt niet ontdekt voordat het een probleem is of zal vormen op planetaire schaal;
3. De betreffende effecten van de stof kunnen niet op korte termijn teruggedraaid worden.

<sup>17</sup> Rockström J. et al. (2013) Planetary boundaries: Exploiting the safe operating space for humanity. *Ecol. Soc.* 14, 32.

<sup>18</sup> Diamond M et al. (2015) Exploring the planetary boundary for chemical pollution. *Environ. Internat.* 78, 8.

<sup>19</sup> Persson L.M. (2013) Confronting unknown planetary boundary threats from chemical pollution. *Environ. Sci. Technol.* 47, 12619.

In een vervolgstudie beschrijven MacLeod et al.<sup>20</sup> welke mogelijke scenario's er zijn waarin chemische stoffen aan elk van de drie voorwaarden zouden kunnen voldoen, om daarmee chemische profielen op te stellen die bij elk scenario horen. Die profielen zijn vervolgens gedefinieerd in termen van de aard van de effecten van een stof(groep) op een essentieel proces van het systeem Aarde en de mate van de milieublootstelling aan de stof.

Ik beperk me hier tot de laatste categorie:

*C3-1 Environmental Exposure Is Poorly Reversible.* Tot deze categorie behoort niet alleen koolstofdioxide, maar ook de uiterst persistente gefluoreerde organische surfactants (e.g., PFOS and PFOA) die nog eeuwenlang zullen blijven rondcirkelen op Aarde.

*C2-1 Nearly Homogeneous Environmental Exposure at the Global Scale.* Tot deze categorie behoren bv. de PCB's met een laag aantal (n=2-4) chlooratomen, en hexachloorbenzeen.

Deze beide profielen zijn dus alleen omschreven in termen van de aard van de blootstelling aan chemische verontreiniging, en het is nu zaak om criteria en modellen te ontwikkelen waarmee de eventuele omkeerbaarheid van de aanwezigheid van bepaalde verontreinigingen in het milieu beoordeeld kan worden. Daarvoor zijn betrouwbare experimentele gegevens nodig over afbraak(snelheden) in water, lucht en bodem. Dit zijn tastbare onderzoeksdoelen waarmee de realiteit van deze PB een stuk dichterbij onszelf komt te staan. Recent is overigens voorgesteld om de "chemische verontreiniging" als PB te vervangen door het bredere begrip "Introduction of novel entities" (zoals organische verontreinigingen, radioactieve materialen, nanomaterialen en micro-plastics)<sup>21</sup>.

Wat betekent het concept van planetaire grenzen voor de nieuwe verontreinigingen voor de bodem en de waterkwaliteit? Om te beginnen worden concentraties op globale schaal gevoed door de concentraties die er op lokale schaal optreden. We zijn ons er inmiddels wel van bewust dat plastics al op globale schaal verspreid zijn en in oceanen een plastic soep veroorzaken. Die globale verspreiding wordt vooral veroorzaakt door aanvoer vanuit metropolen die aan zee gelegen zijn en vanuit rivieren. Onlangs verscheen een artikel in Nature over de concentraties van microplastics in de Rijn<sup>22</sup> die dat bevestigen. Het lijkt niet (meer) realistisch om te trachten een substantiële hoeveelheid plastic afval uit de oceanen te verwijderen, en een aanpak gericht op vermindering van gebruik en bevordering van hergebruik heeft waarschijnlijk meer effect<sup>23</sup>.

<sup>20</sup> MacLeod M. et al. (2014) Identifying chemicals that are planetary boundary threats. Environ. Sci. Technol. 48, 11057.

<sup>21</sup> Steffen W. et al. (2015) Planetary Boundaries: Guiding human development on a changing planet. Science 347 no. 6223.

<sup>22</sup> Thomas Mani, Armin Hauk, Ulrich Walter & Patricia Burkhardt-Holm. Microplastics Profile along the Rhine River. Nature Sci. Rep. (2015), doi: 10.1038/srep17988.

<sup>23</sup> Lavender Law, K & Thompson RC, Microplastics in the seas. Science 345, 6193.

Zijn er lokale bodembedreigingen die de potentie hebben om uiteindelijk globale dimensie aan te nemen? De Technische Commissie Bodem (TCB) heeft in 2009 een inventarisatie gemaakt waaruit bleek dat voor de bodem de hoogste prioriteit van nieuwe verontreinigingen voor ecosystemen en voor de mens bij diergeneesmiddelen ligt. Het diergeneesmiddelgebruik zal toenemen in de toekomst en hoewel de middelen zelf wellicht geen directe bedreiging van globale aard zullen vormen, is de antibiotische resistentie (ABR) die meer en meer gesignaleerd wordt een probleem dat misschien wel globale dimensies kan aannemen. Een toename in ABR-genen tussen 1940 en 2008 is inderdaad aangetroffen in gearchiveerde Nederlandse bodems<sup>24</sup>. Het is overigens wel zo dat de bodem van nature over een grote ABR beschikt.

Een groep van stoffen die door hun specifieke eigenschappen (met name persistentie en mobiliteit) kanshebber zijn om op globale schaal onomkeerbare gevolgen te krijgen zijn de organische perfluorverbindingen. Deze stoffen zijn onder meer door hun toepassing in blusschuimen in vaak grote hoeveelheden in de bodem terechtgekomen in de buurt van brandweeroefenterreinen, bijvoorbeeld bij vliegvelden en militaire bases<sup>25</sup>.

Uit recent Scandinavisch onderzoek<sup>26</sup> blijkt dat

1. perfluorverbindingen bij vrijwel alle onderzochte brandweeroefenterreinen van 43 Noorse vliegvelden werden aangetroffen;
2. de concentraties van PFOS, één van de meest gebruikte perfluorverbindingen, in de bodem in de buurt van de oude oefenterreinen veel hoger zijn (tot tientallen mg/kg) dan de Noorse bodemrichtlijn van 100 µg/kg.
3. dat regelmatig grondwaterconcentraties in de orde van 1-50 µg/L werden aangetroffen.
4. dat brandweeroefeningen gedurende jaren geleid hebben tot ernstige milieuverontreiniging met vooral PFOS, maar ook andere perfluorverbindingen en dat enerzijds de persistentie en anderzijds de hoge mobiliteit (bv. in zandige bodems) van diverse PFOS een risico vormt.
5. dat het aandeel dat lokaal verontreinigde terreinen aan de totale contaminatie van Zweedse ecosystemen met PFOS weliswaar klein is, maar dat de lokale impact in diverse gebieden in Zweden ernstig is, en het derhalve gewenst is alle verontreinigde terreinen in het land in kaart te brengen.

---

<sup>24</sup> Knapp C.W., Dolfing J., Ehlert P.A.I., Graham D.W. (2010) Evidence of increasing antibiotic resistance gene abundances in archived soils since 1940. *Environ.Sci.Technol.* 44:580-587.

<sup>25</sup> De Voogt P en Parsons JR (2015) De Voogt P, Parsons JR (2015). Emerging contaminants, relevant voor de bodem! *Bodem*. Oktober 2015, 28-30.

<sup>26</sup> Martinsen K (2012) Polyfluorinated compounds at fire training facilities. Common Forum Meeting Bilbao, 23.10.2012; SFT (2008) Screening of polyfluorinated organic compounds at four fire training facilities in Norway, TA-2444/2008, Norwegian Pollution Control Authority, Oslo; Norström, K., Viktor, T., Cousins, A.P., Rahmberg, M. (2015) Risks and effects of the dispersion of PFAS on aquatic, terrestrial and human populations in the vicinity of international airports. IVL-Swedish Environmental Research Institute 2015, B-2232, Stockholm.



Figuur 2. Oefening met schuimblussen. Bron foto: <http://www.zieglerbrandweerteknik.nl/>.

Vooral in de VS zijn sinds enige tijd diverse grote projecten aan de gang die de bedreiging van grondwaterkwaliteit door verontreinigingspluimen van PFOS en verwante verbindingen, of het schoonmaken van verontreinigd(e) grondwater of bodem aanpakken. In diverse andere landen zijn inventarisaties gemaakt van de (mate van) PFOS verontreiniging van bodem en grondwater in de nabijheid van brandweeroefenterreinen of plaatsen waar grote oliebranden bestreden werden met blusschuim, zoals in de UK (Buncefield), de Kaanaaleilanden en Duitsland. In de onderzochte gevallen bleek steeds dat er hoge concentraties perfluorverbindingen in bodem of grondwater zijn aangetroffen.

In Nederland is de mate van PFOS verontreiniging bij brandweeroefenterreinen van vliegvelden voor zover bekend nimmer in kaart gebracht. Wel zijn er incidenten bekend, zoals bij een (vals) brandalarm in 2008 op luchthaven Schiphol waarbij een hoeveelheid met PFOS verontreinigd water in de bodem en het nabije oppervlaktewater terecht kwam<sup>27</sup>. Perfluorverbindingen zijn ook aangetroffen in en onder stortplaatsen, en in grondwater dat gevoed is door rivierwater. Sommige van de perfluorverbindingen, met name de stoffen met korte koolstofketens (C3-C6) zijn relatief mobiel in de bodem en kunnen vanuit de stortplaats waterwingebieden bereiken<sup>28</sup>. Dit geldt voor allerlei andere verbindingen evenzeer, bijvoorbeeld voor de antiklopstoffen in benzine zoals MTBE. Persistente mobiele contaminanten kunnen een reële bedreiging vormen voor de drinkwaterkwaliteit, temeer daar deze vaak lastig te verwijderen zijn uit het water<sup>29</sup>. Bovendien wijst recent onderzoek uit dat persistente, goed in water oplosbare stoffen in eetbare delen van planten opgenomen kunnen worden<sup>30</sup>.

<sup>27</sup> Hoek – van Nieuwenhuijzen, M. (2011, 2012) PFOS in waterbodems Schiphol I,II IMARES, C043/11, C007/12, IJmuiden.

<sup>28</sup> Eschauzier C, Raat KJ, Stuyfzand PJ, de Voogt P (2013) Perfluorinated alkylated acids in groundwater and drinking water: identification, origin and mobility. *Sci Total Environ* 458-460, 477-485.

<sup>29</sup> Eschauzier C, Beerendonk EF, Scholte-Veenendaal P, de Voogt P (2012) Impact of treatment processes on the occurrence of perfluoroalkyl acids in the drinking water production chain. *Environ. Sci. Technol.* 46, 1708-1715.

<sup>30</sup> Felizeter S, McLachlan M, de Voogt P (2014) Root uptake and translocation of perfluorinated alkyl acids by three hydroponically grown crops. *J. Agric. Food Chem.* 62, 3334-3342.

Bij ongeveer een derde van de grondwaterwinningen in Nederland bestaan risico's dat de grondwaterkwaliteit binnen het intrekgebied van de winning verslechtert<sup>31</sup>. In 2013 concludeerde het RIVM dat het aantal chemische stoffen dat in grondwater aanwezig is veel groter is dan reguliere monitoringsprogramma's aangeven en dat ongeveer de helft van de grondwaterwinningen niet voldoet aan het uitgangspunt dat het mogelijk moet zijn om met eenvoudige technieken drinkwater te produceren<sup>32</sup>. Weliswaar spelen hierbij niet alleen de nieuwe verontreinigingen een rol, maar de meeste zorg is over stoffen die consumenten gebruiken, zoals geneesmiddelen, insecticiden, biociden, cosmetica, brandvertragers en nanodeeltjes. Nieuwe verontreinigingen kunnen dus de beschikbaarheid van oppervlaktewater en grondwater als bron voor drinkwater ondermijnen.

Zolang de mens stoffen blijft produceren die niet of nauwelijks afbreekbaar zijn in het milieu, bestaat de kans dat op enig moment een grens overschreden wordt. Of die grens planetair is, is dus per definitie lastig te voorspellen. Naarmate de betreffende stoffen mobieler zijn, wordt de kans groter dat een relatief kwetsbaar ecosysteem bereikt wordt, waar de betreffende grenzen wellicht lager liggen. Het is daarom nodig vragen te stellen als: 'welke chemicaliën hebben we écht nodig, in wat voor - liefst minimale - hoeveelheden en waar precies kan dat optimaal?'. Voor de perfluorverbindingen is die discussie inmiddels door een grote groep wetenschappers aangezwengeld<sup>33</sup>, maar wèl pas nádat de problemen met deze verbindingen in het milieu aan het licht zijn gekomen. Zulke vragen - die deel uitmaken van wat wel horizon-denken of horizon-scannen genoemd wordt<sup>34</sup> - zouden veel eerder, dus aan het begin van de levenscycli van chemische stoffen, moeten worden gesteld. Het is meer dan hoog tijd om dat te gaan doen, zodat we ook in de toekomst gebruik kunnen blijven maken van de diensten die de bodem ons biedt.

### **Pim de Voogt**

Universiteit van Amsterdam / KWR Watercycle Research Institute  
w.p.devoogt@uva.nl

---

<sup>31</sup> Wuijts S, Dik, HHJ (2009) Beoordeling grondwater- en oevergrondwaterkwaliteit bij winningen voor drinkwater. Report 609033006, RIVM, Bilthoven.

<sup>32</sup> Wuijts S, Versteegh JFM (2013) Bescherming drinkwaterbronnen in het nationaal beleid 609715005, RIVM, Bilthoven.

<sup>33</sup> Blum A. et al (2015) The Madrid Statement on poly- and perfluoroalkyl substances. *Environ. Health Perspect.* 123, A107-A111.

<sup>34</sup> Sutherland W.J. et al. (2013) A horizon scan of global conservation issues for 2013. *Trends Ecol. Evolut.* 28, 16-22.



## DE BODEM IN DE BIO-ECONOMIE

“We are now starting the century of biology”, zei Craig Venter, de bekende genom pionier, die de wereld schokte met zijn aankondiging dat hij het genoom van de mens van voor tot achter kon uitlezen met zijn nieuwe methode, “whole genome shotgun sequencing”.

Inderdaad heeft na de aankondiging van Craig Venter in 1997 de wetenschap van de genoombiologie zo’n enorme vlucht genomen, dat de omvang van de genetische gegevensbestanden nauwelijks nog voorstelbaar is. Daarbij speelt ook een rol dat rond 2005 nieuwe DNA-machines op de markt kwamen, die de snelheid waarmee genomen uitgelezen kunnen worden nog met enkele ordes van grootte hebben opgejaagd. Het is tegenwoordig geen probleem om het volledige genoom van de mens (ruim drie miljard baseparen) op een achternamiddag uit te lezen en samen te stellen, een operatie die twintig jaar geleden nog vijftien jaar noeste arbeid vergde.

Wat zijn de gevolgen van de genomrevolutie voor de bodem? In de eerste plaats is met de nieuwe genomtechnieken ook onze kennis over het DNA van de bodem gigantisch toegenomen. Daarbij zijn talloze nieuwe organismen ontdekt, bacteriën, Archaea en protisten, die rollen vervullen waar we vroeger helemaal niet van op de hoogte waren (bijvoorbeeld de dominantie van Acidobacteria en de aanwezigheid van ammonium oxiderende Archaea)<sup>35</sup>. Maar minstens zo belangrijk is dat de genoombiologie ook onze kennis van stofwisselingsprocessen in de bodem sterk heeft vergroot. Daardoor hebben we een veel beter zicht op de biosyntheseroutes die de natuur gebruikt om organische moleculen te maken. Die kennis komt nu op cruciale wijze van pas bij de overgang naar een bio-gebaseerde maatschappij, de bio-economie.

De nog onbekende functies van de bodem worden opgespoord in een wetenschap die inmiddels metagenomica is gaan heten. Dat betekent dat je functies en genen identificeert zonder je druk te maken om de vraag in welke organismen ze zich bevinden. Het metagenoom van de bodem is het geheel aan genen en ander DNA van alle soorten bij elkaar, zoals het in een bepaalde levensgemeenschap aanwezig is en onderling samenwerkt. De afgelopen jaren is gebleken dat, naarmate we meer zicht kregen op het metagenoom van de bodem, functies ontdekt werden die we daarvoor nog helemaal niet kenden. Die functies kunnen we inzetten om op biologische manier reacties uit te voeren voor de synthese van nuttige producten in de bio-gebaseerde economie.

<sup>35</sup> Straalen NM van, Roelofs D (2012). An Introduction to Ecological Genomics, 2nd ed. Oxford University Press, Oxford, 363 pp.

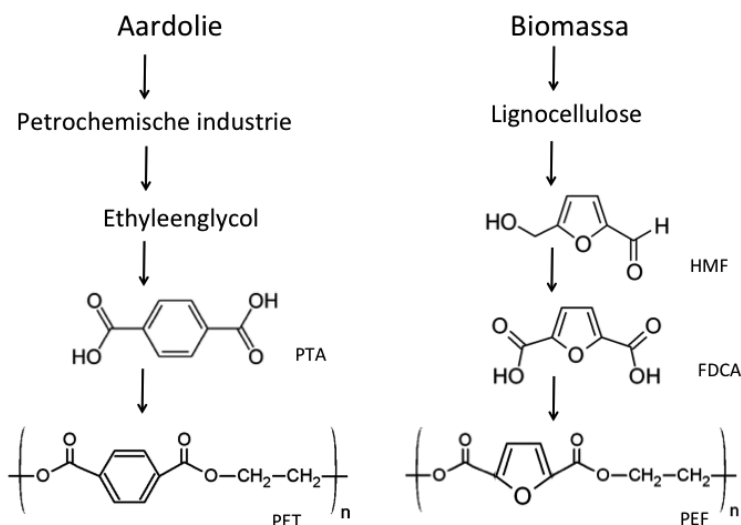
Wat is eigenlijk een bio-gebaseerde economie, of kortweg, bio-economie? Iedereen begrijpt dat we niet door kunnen gaan met het huidige gebruik van fossiele brandstoffen. De voorraden olie, kolen en gas die gedurende vele miljoenen jaren zijn geaccumuleerd in de ondergrond, worden nu in enkele decades opgestookt en als koolzuurgas de lucht in geblazen. Als we niet nu al een transitie in gang zetten naar een maatschappij die niet van fossiele brandstoffen afhankelijk is, lopen we vast. Een van de oplossingen is dat we in plaats van fossiele grondstoffen gebruik maken van biomassa. Biomassa groeit onder opname van gratis koolzuurgas uit de lucht en bovendien kunnen we biomassa steeds weer opnieuw laten groeien. Daarmee wordt de economie qua energievoorziening circulair in plaats van uitputtend.

De energietransitie naar een circulaire economie zal een groot aantal ingrijpende maatregelen vereisen. Interessant is dat in bijna alle gevallen een grote rol is weggelegd voor de bodem. Het kunnen beschikken over bodems die vruchtbaar zijn, en een voldoende oppervlak beslaan om biomassa te produceren zal cruciaal worden, is mijn stelling.

Ik denk dat we moeten beginnen met de productie van fijnchemicaliën uit biologische materialen. Het gebruik van biomassa voor de productie van brandstoffen voor auto's en energieopwekking is nog economisch onhaalbaar vanwege de relatief lage olieprijs en het beslag dat biomassa-productie legt op het ruimtegebruik. Maar fijnchemicaliën of monomeren voor kunststoffen hebben een hoge prijs per massa-eenheid en de productie ervan heeft een hoge toegevoegde waarde.

Een voorbeeld is de synthese van 2,5-furaandicarbonzuur, afgekort FDCA. Het is een stof die enzymatisch gekatalyseerd gemaakt kan worden uit glucose en fructose. Glucose en fructose kunnen op hun beurt gewonnen worden uit lignocellulose. Dit materiaal is in grote hoeveelheden verkrijgbaar uit de reststromen van de suikerriet- en palmolie-productie, en verder uit allerlei vezelrijke plantmaterialen die als afval vrijkomen uit de land- en bosbouw, zoals stro, hout en riet. Uit FDCA kan door polymerisatie een "bioplastic" gemaakt worden, polyethyleenfuranoaat, een mogelijke vervanging van polyethyleentereftalaat (PET, zie figuur 1). Deze laatste stof wordt gemaakt door polymerisatie van tereftaalzuur, een aardolieproduct. Het gebruik van FDCA zou het dus mogelijk maken om kunststoffen, die geen beroep doen op fossiele brandstoffen, in te zetten voor bijvoorbeeld verpakkingsmateriaal (frisdrankflessen).





Figuur 1. Schema voor de productie van PET, de bekende plastic voor frisdrankflessen (links), en PEF, een "bioplastic" die gemaakt kan worden vanuit biomassa (rechts).

In ons lab op de Vrije Universiteit onderzoeken we of deze nieuwe "groene" chemicaliën even veilig zijn als de stoffen die ze zouden moeten vervangen<sup>36</sup>. Net als traditionele chemicaliën kunnen bio-geproduceerde chemicaliën eigenschappen bezitten die nadelige effecten op het milieu veroorzaken, o.a. toxiciteit voor in de bodem voorkomende organismen. Maar voorshands blijkt uit het onderzoek met bodemorganismen zoals regenwormen en springstaarten dat de groene chemicaliën minder giftig zijn dan, of tenminste even giftig zijn als, de stoffen die ze hopen te vervangen. Wel is er bij de synthese van FDCA sprake van een intermediaire stof, 5-hydroxymethylfurfural (HMF) die wel toxisch is. Deze stof induceert in het organisme een groot aantal biotransformatie-enzymen, een indicatie voor omzetting naar een reactief tussenproduct. Het gaat hier waarschijnlijk om 5-sulfoxy-methylfurfural, een verbinding met mutagene eigenschappen. Gelukkig heeft HMF in normale bodems een erg korte halfwaardetijd: het wordt snel afgebroken. Deze afbraak wordt gekatalyseerd door micro-organismen, wat blijkt uit het feit dat de toxiciteit van HMF alleen waar te nemen is in gesteriliseerde bodems.

Als we er van uit gaan dat we in de toekomst meer bio-gebaseerde processen zullen gebruiken, zoals de productie van FDCA uit lignocellulose, om op duurzame wijze te voorzien in onze consumptieve goederen, zal dat ongetwijfeld meer ruimte gaan kosten. Bovendien stelt de productie van biomassa hogere eisen aan de kwaliteit van de bodem dan de plaatsing van windmolens en zonnepanelen, zaken die ook een groot beslag leggen op de ruimte in de toekomstige maatschappij.

<sup>36</sup> Chen G (2016). New tools for assessment of soil toxicity: towards the bio-based economy. Proefschrift Vrije Universiteit Amsterdam.

De landbouw ziet zich nu al gesteld voor de schijnbaar hopeloze taak de productie zodanig op te voeren dat in de volgende eeuw twaalf miljard mensen te eten hebben. De steeds maar toenemende bevolkingen in ontwikkelingslanden en het Midden Oosten en het gebrek aan een beleid in die landen om de bevolkingsgroei af te remmen, stelt de hele wereld voor grote problemen. Of de transitie naar een bio-economie al die problemen kan voorkomen is de vraag. Maar in ieder geval opent het de mogelijkheid voor de landen, die de transitie inzetten om minder afhankelijk te worden van de import van fossiele brandstoffen, een stroom die ooit op gaat houden.

In verband met dit toekomstperspectief is het nodig dat we opnieuw gaan nadenken over het ruimtegebruik van onze bodem in Nederland. Er zijn geen eenvoudige oplossingen voorhanden. Een groot deel van onze vruchtbare kleibodems ligt in het Westen en wordt gebruikt voor bebouwing, infrastructuur en om vliegtuigen op te laten landen. En we gebruiken bodems om mest op uit te rijden van varkens waarvan het vlees grotendeels geëxporteerd wordt. Het is niet gemakkelijk om zulk kwalitatief laagwaardig gebruik van in potentie waardevolle bodems om te buigen.

De transitie naar een bio-economie zal niet vanzelf gaan. Er is een actief overheidsbeleid voor nodig. Pas als de ontwikkelingen in die richting goed op gang zijn gekomen en voldoende vooruitzicht bieden, kunnen autonome maatschappelijke processen ("de markt") het overnemen. De instelling van een TCB-achtige denktank zou een goede manier zijn om na te denken over het geheel van technologische, economische en sociale veranderingen dat nodig is voor de transitie naar een bio-economie en de rol die de bodem daarin kan en moet spelen.

**Nico M. van Straalen**

Vrije Universiteit Amsterdam

n.m.van.straalen@vu.nl

# BOUWEN MET HET MICROBIOOM VAN DE BODEM

## Wensbeelden, waarden en wetenschap: drie ingrediënten voor duurzaam bodemgebruik

Nog niet zo lang geleden waren we bij de tentoonstelling *Foodtopia* in het museum Boerhaave in Leiden. Louise Fresco gaf hierin haar visie op voeding, gewassen, bevolking, bevolkingsgroei en de noodzaak tot innovatie, op een manier die duurzame ontwikkeling blijvend combineert met een groeiende wereldbevolking en een fysiek veranderende wereld. Een treffende tentoonstelling met een stimulerende boodschap over de kracht van vernieuwing en innovatie. In de nazit filosofeerden we hier nog eens over door. De tentoonstelling besteedde aandacht aan voedselzekerheid, voedselveiligheid, voedsel en gezondheid en maatschappelijke aspecten van duurzame ontwikkeling. Een context waarbinnen duurzaam gebruik van de bodem een bijzondere plaats inneemt. Maar duurzaam bodemgebruik gaat verder en is voor ons even noodzakelijk voor landbouw, als voor stedelijke ontwikkeling, natuur, habitat en biodiversiteit, klimaat en energie, een meer circulaire economie en de sociaaleconomische verdelingsvraagstukken in onze wereld. Gezien de schaarse voorraad aan meervoudig bruikbare bodems is het cruciaal dat we als gebruikers van die bodem er zodanig verstandig mee omgaan dat we voor nu en de generaties na ons kunnen blijven beschikken over een goed werkend bodemsysteem. De bodem is immers een essentieel compartiment dat ons fysiek draagt, een levende entiteit is met een eigen dynamiek, ons onmisbare producten zoals voedsel, biomassa en gezuiverd zoet water levert, ziekten tegen gaat en kringlopen en processen reguleert. Doordenkend en prattend kwamen wij in onze bespiegeling uit op het volgende, optimistische beeld.

## Wensbeelden

We lieten ons inspireren door het in kaart gebrachte genetisch materiaal van het menselijk microbioom (de levensgemeenschap van micro-organismen die we met ons meedragen), meer specifiek in de darm (darmflora). Een aanpak die is bedoeld/bedacht om de betekenis van het microbioom voor de gezondheid van de mens te ontrafelen. Analoog hieraan nemen we het microbioom van de bodem als uitgangspunt voor de gezondheid van de bodem. Dit zogenaamde bodemmicrobiom bestaat uit een enorme hoeveelheid micro-organismen die gezamenlijk in een netwerk van onderlinge relaties essentiële functies uitvoert. Uiteraard verschillen de functies van het microbiom per bodemtype, locatie en in de tijd. In onze toekomstige wereld is het gebruik van de bodem afgestemd op de microbiologische bodemfuncties: de bodem levert waar dat stuk bodem goed in is. Waar we op inzetten is dat we hier gericht gebruik van gaan maken, bijvoorbeeld door precies die gewassen aan te planten waarvoor het bodemmicrobiom ziekten kan helpen onderdrukken of de juiste nutriënten kan leveren.



*Figuur 1. Toekomstmuziek: Staalkaart van bodemmicrobioom op basis van selectieve kleurcodering: verticaal: microbiom variatie; horizontaal: bodemsamples Veluwe-noord (plot BM-12).*

Als we slim gebruik willen maken van het bodemmicrobioom hebben we een goed gevulde gereedschapskist nodig. We komen uit op het volgende:

- Allereerst zijn we straks in staat om het microbiom van de bodem routinematig te bepalen. 'Even een microbiompje trekken' is een gevleugelde uitspraak geworden.
- Verder kunnen we veranderingen in het bodemmicrobioom signaleren en de oorzaak hiervan achterhalen. Dit maakt het mogelijk om met variatie om te kunnen gaan;
- Ook zijn we in staat nieuwe, nog onbekende micro-organismen op te sporen en te bepalen welke functies zij kunnen leveren aan het microbiom. Zo zijn de eigenschappen van een specifiek bodemmicrobioom dus te sturen door introductie van nieuwe micro-organismen.
- We kunnen het bodemmicrobioom ook sturen door aanplant van gewassen die dusdanig zijn aangepast dat ze een specifiek bodemmicrobioom induceren. Door het gericht aanpassen van het bodemmicrobioom worden de functies van de bodem aangepast en versterkt, zodat we verzekerd blijven van die functies.
- We weten dan ook genoeg over de balans van het bodemmicrobioom om te weten of deze stabiel is of dat subtiel bijsturen wenselijk is, zodat herstellingrijpen, dat vroeger nodig was, achterwege kan blijven.
- Tenslotte zijn we in staat om met de 'staalkaart bodemmicrobioom' te zien wat we van de bodem mogen verwachten of anders gezegd: welke ecosystemediensten heeft een bepaalde bodem ons te bieden.

Zo'n gereedschapskist en de vulling daarvan is natuurlijk geen sinecure. In onze toekomstvisie hebben we daar de hulp van de synthetische biologie (synbio) voor ingeroepen. Deze techniek maakt het mogelijk gericht (biochemische) functies in een organisme - bijv. micro-organismen of planten - aan te passen of te introduceren. Synbio ziet stukjes DNA als gedefinieerde codes waarmee ontwerp en bouw van nieuwe functies mogelijk zijn -

vergelijkbaar met de ontwikkeling van bijvoorbeeld applicaties in de ICT. Dit vakgebied heeft zich in onze toekomstvisie met reuze schreden ontwikkeld, waardoor het mogelijk is om functies op individueel niveau - de micro-organismen zelf - en geaggregeerd niveau - het samenspel tussen deze organismen - te bepalen, te ontwikkelen en te introduceren. Ons resultaat van de overpeinzing: een set instrumenten dat ons in staat stelt een microbiologisch bodemprofiel te trekken en een beoordeling te maken van de gesteldheid van de bodem en de mogelijkheden voor interventie. We propageren niet een nieuw maakbaarheidsideaal. Inzet is om op basis van het aanwezige bodemmicrobioom tot een doordacht en respectvol gebruik van de bodem te komen. Streven dus naar een optimaal gebruik van bodemdiensten - optimaal voor bodem én gebruiker.

### Waarden

Futuristisch natuurlijk, maar in de toekomst proberen te kijken mag. En onze wensbeelden lijken zo gek nog niet. Voor ons komen hieruit een aantal essentiële waarden naar boven.

*Levende entiteit:* allereerst beschouwen we de bodem als een levende entiteit die vruchtbaarheid en leven geeft. In plaats van een onaantrekkelijke, vanzelfsprekende grondeenheid zien we de bodem als een vitale, hoogwaardige natuurlijke hulpbron die een onlosmakelijk onderdeel is van het ecosysteem.

*Respectvol gebruik:* een levend onderdeel van ons ecosysteem vraagt om een respectvol gebruik, aansluitend bij wat er kan: niet elke bodem kan alles even goed. We kijken waar en hoe, ook op de lange termijn, de bodem benut kan worden met zo min mogelijk negatieve effecten. We verbruiken de bodem niet en herhalen de levering van diensten met een zo groot mogelijke efficiency.

*Bron van innovatie:* de diversiteit in het bodemleven en het samenspel tussen planten, bodemfunctie en microbiom is een bron van innovatie. Deze kennis en kunde - op zowel genetisch, microbiologisch, microbiom en ecosysteem niveau - biedt nieuwe kansen en mogelijkheden, vanuit het perspectief van duurzaam bodemgebruik maar zeker ook breder.

*Van en voor iedereen:* Het bodemmicrobioom en de onderliggende genetische informatie behoort (intellectueel eigendomsrechtelijk) tot het publieke domein. Landen kunnen hun rechten met betrekking tot genetische bronnen laten gelden en lokale gemeenschappen laten delen in de voordelen van het gebruik van kennis en bronnen. Onder voorwaarden kan genetische informatie selectief aan partijen beschikbaar worden gesteld.

Kortom, de bodem als een maatschappelijke en ecologische waarde met een essentiële biologische, maatschappelijke en innovatieve functie. Een perspectief dat vraagt om een juiste en afgewogen behandeling van die bodem.

## Wetenschap

Als RIVMers kennen we natuurlijk de kracht van de kennis en wetenschap en zien we de kansen en de zorgen van de nieuwe ontwikkelingen die op ons afkomen. Ook weten we heel goed dat veel grote beloftes, vooral beloftes blijken te zijn. Maar het is goed om steeds te kijken naar wat die beloftes waard (kunnen) zijn. In hoeverre sluiten de huidige ontwikkelingen aan op ons toekomstbeeld van 2050?



Fig. 2. Bodemmicro-organismen. Van <http://warnercnr.colostate.edu>.

Voor het microbioom van de bodem zien we nu al verschillende interessante ontwikkelingen. Door de enorme snelheid en kostendaling van het bepalen van de DNA sequentie krijgen we steeds meer zicht op wat er zich aan micro-organismen in de bodem bevindt en welke functies zij kunnen uitoefenen, bijvoorbeeld op het wortelsysteem van bepaalde gewassen. Ook zijn er al veel micro-organismen geïdentificeerd die worden toegepast om plantengroei te verbeteren, plantenziekten te onderdrukken, bodems te reinigen en schadelijke stoffen te detecteren. Door genetische modificatie worden deze micro-organismen verbeterd ten aanzien van hun functie, consistente werking en overleving. Genetische modificatie heeft ook geleid tot het ontrafelen van werkingsmechanismen en het in kaart brengen van interacties in de bodem.

Door synthetische biologie raken deze ontwikkelingen in een stroomversnelling. Modificaties gaan niet alleen sneller, maar ook 'slimmer', waardoor micro-organismen en planten gericht en efficiënter kunnen worden ingezet om de bodem en haar functies te ondersteunen en te verbeteren. Zo laat de synthetische biologie nu ontwikkelingen zien waarbij gewerkt wordt aan bacteriegebaseerde sensoren die gevoelig zijn gemaakt voor een specifieke stof. Dit opent de weg naar specifieke detectie van een willekeurige stof, zoals arseen. Maar ook een uitscheidingsproduct van bijvoorbeeld een andere bacterie kan worden gedetecteerd, waardoor het mogelijk wordt met een aangepaste 'synbio-bacterie' een soortgenoot te detecteren. Ook zijn er ontwikkelingen waarbij synthetische biologie gebruikt wordt om de interactie tussen bacteriën onderling en met planten gericht te beïnvloeden en te sturen. De aanpak hoe we dit precies moeten 'engineeren' vergt nog veel onderzoek, maar toch openbaart zich hier al wel een eerste opening naar bijvoorbeeld het kunnen sturen van het bodemmicrobioom.

Synthetische biologie is zeker geen heilige graal en sommige wensen zullen voorlopig nog ver weg liggen of zelfs onbereikbaar blijken. Maar gezien de razendsnelle ontwikkeling die nu zichtbaar is, kunnen we in de toekomst een flinke stap verwachten in identificatie en toepassing van het microbiom voor een gezonde bodem.

Naast de kansen en ontwikkelingen, rijst juist bij synthetische biologie ook de vraag hoe we met de zorgkanten moeten omgaan. Hoe houden we zicht op de nieuwe uitdagingen en zorgen die deze innovatie met zich meebrengt? Essentieel is dat deze en andere vragen gesteld en beantwoord worden - in het publieke domein, maar ook daar buiten - om irreversibele ontwikkelingen te voorkomen.

### Tot slot

Al met al levert zo'n museumbezoek toch behoorlijk wat inspiratie op. En een belangrijke constatering: de noodzaak van duurzaam bodemgebruik is echt niet iets van de vorige eeuw. Juist nu - een tijd waarin we grote vraagstukken als klimaatverandering en sociaaleconomische verdeling van welvaart en welzijn moeten tackelen - zijn we aangewezen op duurzaam, verstandig en krachtig omgaan met natuurlijke hulpbronnen. De bodem is zo'n hulpbron. Zie het als een belangrijke opdracht aan onszelf waaraan we blijvend moeten werken. Als de Technische commissie bodem ons daartoe niet langer uitdaagt, dan moeten we zelf in beweging komen. En dat gaan wij zeker doen.

**Boet Glandorf, Jaco Westra en Jan Roels**

RIVM

jan.roels@rivm.nl





## ANTIBIOTICARESISTENTIE IN DE BODEM: WIE BIEDT WEERSTAND?

Al in 1993 is antibioticaresistentie met het signaalrapport van de Technische commissie bodem (TCB) betreffende bacteriële antibiotische resistentie en bodemkwaliteit op de agenda gekomen. In mijn essay stel ik dit belangrijke onderwerp op het terrein van gezondheidsbescherming, wat op de lijst stond voor (on)gevraagd advies door de TCB, aan de orde. Helaas zal hiervoor vanuit de TCB geen gelegenheid meer zijn. Mogelijk biedt de Omgevingswet, alsook bijvoorbeeld het recent gelanceerde Natuurlijk Kapitaal, de mogelijkheid met betrekking tot de bodem en antibioticaresistentie alsnog advies uit te brengen. De VWS beleidsbrief biedt kansen om onderzoek te doen naar de mogelijke gezondheidsgevolgen van blootstelling aan antibioticaresistentie in het milieu, waaronder de bodem, en mogelijke beheersmaatregelen. Dit in samenwerking met de ministeries van IenM en EZ. Een dergelijke multidisciplinaire, interdepartementale aanpak is een goed voorbeeld ook voor toekomstige volksgezondheidsbedreigingen vanuit de bodem. Want de ontwikkeling van antibioticaresistentie, de verspreiding hiervan in het milieu, maar ook van en naar mens en dier zal voorsnog onverminderd doorgang vinden.

### Antibioticaresistentie

Bodem bestaat niet alleen uit vele zand en kleideeltjes, ook uit bijvoorbeeld bacteriën. Veelal zogenaamde voor mens en milieu 'goede' bacteriën. Dus eigenlijk ecosysteemdienstbacteriën. Bacteriën die bijdragen aan een gezonde bodem door bepaalde voedingsstoffen te produceren. Bacteriën die schadelijke verontreinigingen opruimen. Er zijn ook voor de mens ziekteverwekkende bacteriën aanwezig in de bodem. En er zijn bacteriën die naast al dan niet ziekteverwekkend te zijn, weerstand bieden tegen onze antimicrobiële middelen, zoals antibiotica. Deze geneesmiddelen vormen een belangrijke manier om bacteriële infecties bij mensen en dieren te bestrijden. En antibioticaresistente bacteriën vormen in toenemende mate een grote dreiging voor de volksgezondheid.

### De stoffen, de micro-organismen en het genetisch materiaal

Veel bacteriën kunnen snel groeien in het milieu onder gunstige omstandigheden. Sommige van deze bacteriën kunnen mensen infecteren, sommige daarvan maken je ziek. Antibiotica kunnen mensen beter maken, doordat ze de groei van antibioticaresistente bacteriën kunnen remmen of de bacteriën doden. Een deel van de bacteriën in het milieu is resistent tegen antibiotica. Dat betekent dat ze in aanwezigheid van antibiotica toch kunnen groeien terwijl andere bacteriën dood gaan. De code voor resistentie tegen antibiotica staat op het DNA van de bacteriën, de zogenaamde resistentiegenen. Dit DNA kan aanwezig zijn op een zogenaamd mobiel element of in het genoom, het genetisch materiaal, van de bacterie. In het milieu kunnen resistente bacteriën, resistentiegenen en antibiotica (residuen) allemaal voorkomen en antibioticaresistentie veroorzaken.

## De bodem

De bodem speelt op verschillende manieren een rol bij het ontstaan én de verspreiding van antibioticaresistentie, en de transmissie naar de mens. Enerzijds heeft de bodem ons belangrijke antibiotica geleverd, waarbij penicilline geproduceerd door een bodemschimmel een van de eerste en bekendste is<sup>37</sup>. Anderzijds is de aanwezigheid van antibioticum resistentiegenen in de bodem aangetoond<sup>38,39</sup>. Metingen in bewaarde bodemonsters laten zien dat het aantal antibioticum resistentiegenen in de bodem op verschillende plaatsen in Nederland tussen 1940 en 2008 is toegenomen<sup>39,40</sup>. De (langdurige) aanwezigheid van antibioticum resistentiegenen in de bodem suggereert dat deze resistentiegenen worden opgenomen in het genetisch materiaal van bodembacteriën, die mogelijk ook in het grondwater terecht kunnen komen of resistentiegenen kunnen overdragen aan bacteriën in het grondwater.

## Grondwater

Nederlands drinkwater wordt geproduceerd uit oppervlaktewater (ca. 33 procent) en grondwater (ca. 66 procent). Het is duidelijk dat oppervlaktewater dat gebruikt wordt als bron voor de drinkwaterproductie gecontamineerd is met resistente bacteriën. Er wordt aangenomen dat verwijdering van dergelijke bacteriën door drinkwaterzuiveringsprocessen hetzelfde is als voor bacteriën die gevoelig zijn voor antibiotica, maar dit is vooralsnog niet aangetoond. Grondwater is veelal niet of in veel mindere mate besmet met bacteriën. Wel zijn eerder antibioticaresiduen in oppervlaktewater en grondwater in Nederland bij onderzoek hiernaar aangetroffen. Ook in Nederlands drinkwater zijn in de afgelopen jaren verschillende antibiotica aangetroffen<sup>41,42</sup>. Deze antibiotica komen in zeer lage concentraties voor. In hoeverre blootstelling aan lage concentraties antibiotica in water leidt tot antibioticaresistentie is vooralsnog onbekend.

## Blootstelling van de mens

Blootstelling van mensen aan antibioticaresistentie in de bodem kan mogelijk door het inslikken van stofdeeltjes, maar hier is nog weinig over bekend. Andere beter onderzochte routes zijn indirecter, bijvoorbeeld door het eten van rauwe groente en het drinken van grondwater. Door het eten van besproeide en bemeste gewassen van de volle grond kunnen resistente bacteriën mogelijk uit de bodem bij de mens komen. Zo zijn antibioticaresistente bacteriën gevonden in de bodem waarop gewassen, zoals rauw te consumeren groenten, worden gekweekt. Ook in de mest en in het water voor besproeiing van onze

<sup>37</sup> Nugent R, Back E, Beith A (2010). The Race Against Drug Resistance: A Report of the Center for Global Development's Drug Resistance Working Group.

<sup>38</sup> Schijven JF, Blaak H, Schets FM, de Roda Husman AM (2015). Fate of ESBL-producing *E. coli* from faecal sources in surface water and probability of human exposure through swimming. Submitted for publication in Environmental Science and Technology 49(19): 11825-33.

<sup>39</sup> Huijbers PMC, Blaak H, de Jong MCM, Graat EAM, Vandenbroucke-Grauls CMJE, de Roda Husman AM (2015). Role of the environment in the transmission of antimicrobial resistance to humans – A review. Environmental Science and Technology 49(20): 11993-2004.

<sup>40</sup> Derksen A, Ter Laak T (2013). Humane geneesmiddelen in de waterketen. STOWA 2013-06, KWR 2013-006.

<sup>41</sup> RIVM rapport 703719004/2003.

<sup>42</sup> RIVM rapport 703719016/2007.

gewassen worden vaak resistente bacteriën (o.a. Extended Spectrum Beta-Lactamase (ESBL)-producerende bacteriën) gevonden. Bovendien zijn dergelijke resistente bacteriën in water, bodem en lucht rondom pluimveebedrijven aangetroffen. Oppervlaktewater waar drinkwater van wordt gemaakt, wordt grondig gezuiverd van bacteriën voor consumptie. Grondwater wat hiervoor wordt gebruikt is vaak al vrij van bacteriën en wordt streng gecontroleerd. Wat we niet weten is of resistentiegenen in Nederlands drinkwater aanwezig zijn en zo ja of dit een bedreiging vormt voor onze gezondheid.

Nederland heeft veel recreatiewater waar mensen graag in zwemmen en watersporten. In Nederlands recreatiewater zijn ESBL-producerende *E.coli* gevonden<sup>43</sup>. Blootstelling aan resistente bacteriën in recreatiewater is aannemelijk<sup>38</sup>. Mogelijk spelen waterbodems ook een rol als reservoir van antibioticaresistentie.

### Mest en afvalwater als bronnen van AMR in het milieu

Resistente bacteriën in het milieu zijn afkomstig uit mest en afvalwater. Die resistente bacteriën komen op het land door bemesting. Mest kan ook op het land komen van wilde dieren en weidedieren. Mest van varkens, rundvee, en vooral pluimvee bevatten veel ESBL-producerende *E.coli*. Resistente bacteriën van mensen worden gevonden in afvalwater. Ook als het afvalwater gezuiverd is bevat het nog resistente bacteriën. Als het hard regent komen resistente bacteriën direkt en zonder zuivering uit mest en afvalwater in onze bodem en in ons oppervlaktewater terecht.

### Resistentie in ons milieu en onze gezondheid

Dat het milieu een rol speelt bij het ontstaan, de verspreiding en de blootstelling van mensen aan antibioticaresistentie, dat is zeker. In welke mate de verschillende bronnen en blootstelling aan resistentie in ons milieu bijdragen aan de resistentieproblematiek bij mensen is nog onduidelijk. Meer kwantitatieve studies zijn dan ook dringend nodig om daar zicht op te krijgen.

### Toekomstverkenning

Relevante ontwikkelingen voor de rol van de bodem bij antibioticaresistentie omvatten bijvoorbeeld innovatie in afvalwaterzuivering en mestverwerking en veranderende wet- en regelgeving. Een van de ontwikkelingen waarvan verwacht wordt dat een behoorlijke invloed zal kunnen hebben op antibioticaresistentie is vergrijzing. In 2050 zal naar verwachting een kwart van de bevolking uit 65-plussers bestaan, terwijl dit in 2008 nog 15 procent was<sup>44</sup>. Hierdoor zal het aantal nieuwe gevallen van bepaalde infectieziekten bij ouderen toenemen en ook zullen ziekteverschijnselen heviger zijn en sterfte toenemen. En de vergrijzing zorgt ervoor dat de ongevoeligheid van bacteriën voor antibiotica mogelijk sneller

<sup>43</sup> Blaak H, de Kruijf P, Hamidjaja RA, van Hoek A, de Roda Husman AM, Schets FM (2014). Prevalence and characteristics of ESBL-producing *E. coli* in Dutch recreational waters influenced by wastewater treatment plants. *Veterinary Microbiology* 171: 448-459.

<sup>44</sup> Bijkerk P, van Lier E, van Vliet J, Kretzschmar M (2010). Effecten van vergrijzing op infectieziekten. *Nederlands Tijdschrift voor Geneeskunde* 154: A1613.

toe zal nemen. Meer ouderen zullen namelijk in ziekenhuizen en verpleeghuizen verblijven, waar meer antibiotica worden gebruikt. Dit effect komt bovenop de al bestaande ontwikkelingen op het gebied van antibioticaresistentie.

### **Mogelijke maatregelen**

Dat we kunnen worden blootgesteld aan antibioticaresistentie in het milieu, zoals recreatiewater, is waarschijnlijk. Of we indirect worden blootgesteld aan antibioticaresistentie in de bodem via bijvoorbeeld het eten van rauwe groente is aannemelijk. In welke mate dit het geval is, weten we niet. En ook weten we niet of dit gevolgen heeft voor onze gezondheid. Tot we hier meer inzicht in hebben is de noodzaak voor het doorvoeren van maatregelen onduidelijk. Wel kunnen we de mogelijke bijdrage van huidige en toekomstige maatregelen op gebied van bodem, water, mest, sanitatie en hygiëne evalueren voor wat betreft de effectiviteit van deze maatregelen om de verspreiding van antibioticaresistentie via het milieu, ook de bodem, te verminderen. Nu, ruim twintig jaar na het verschijnen van het TCB signaalrapport waarin om nader onderzoek wordt gevraagd, lijkt de weerstand tegen onderzoek naar de mogelijke rol van het milieu bij de antibioticaresistentie problematiek eindelijk te zijn afgenomen.

**Ana Maria de Roda Husman**

RIVM

[ana.maria.de.roda.husman@rivm.nl](mailto:ana.maria.de.roda.husman@rivm.nl)

# DE BODEM, BODEMADVISING EN HUN TOEKOMST, IN DRIE KERNWAARDEN

## Bodem

### *Geduldig*

De bodem heeft haar schatten met heeeel veel geduld verzameld,

### *Rijk*

...en heeft nog meer veel meer geduld om ze prijs te geven.

### *Verbonden*

De bodem is verbonden met alles; bedenk maar eens iets wat geen relatie heeft met bodem – mij lukt 't niet!

## Adviseren over bodem

### *Geduldig*

Commissieleden moesten meer geduld tonen dan ze soms hadden, bij herhaalde advisering over hetzelfde onderwerp,

### *Rijk*

.... maar gelukkig werd zijn totaliteit een rijkdom aan onderwerpen gevraagd.

### *Verbonden*

Samen een discours ontwikkelen tussen disciplines, dat spreekt aan.

## Toekomst aan de bodem (-advising)

### *Geduldig*

De bodem overleeft de TCB en ons allemaal,

### *Rijk(er)*

....worden we door slim al die bodemschatten te beheren en benutten.

### *Verbonden*

Met de kenniswereld snappen we de processen, en daarmee de grenzen en mogelijkheden, en geven toekomst aan de bodem!

## Annemarie van Wezel

KWR Watercycle Research Institute / Universiteit Utrecht  
annemarie.van.wezel@kwrwater.nl







