

teel het ontstaan en de verandering van de neerslag van ijzeroxiden in grondwater bij zuurstofinjectie onderzocht ter validatie van een reactief transportmodel.

*Project 835.80.006, Solubility/ mobility of arsenic under changing redox conditions as affected by multi-component transport. Projectleiders: Prof. H.W. van Riemsdijk Dr. Tj. Hiemstra, WUR - Departement Omgevingswetenschappen en Dr. J. Bruining, TUD - Dietz Laboratorium voor Petroleum Engineering. Looptijd: 2002 - 2006. Informatie: tjisse.hiemstra@wur.nl en j.bruining@citg.tudelft.nl.*

### 10. Gestresst voedselweb

Afbraak en omzetting van organische stof en stofstromen in de bodem worden in belangrijke mate bepaald door bodemorganismen, die tezamen een voedselweb vormen. Een te hoog gehalte aan zware metalen in de bodem of andere ongunstige omstandigheden kunnen leiden tot verstoring hiervan. In dit project wordt door veld- en experimenteel onderzoek nagegaan in welke mate het bodemvoedselweb in landbouwgronden wordt aangetast door, dan wel weerstand biedt aan stressfactoren, zoals een te hoog gehalte aan koper in de grond. Op grond hiervan wordt een instrument voor risico-beoordeling van bodemverontreiniging ontwikkeld.

*Project 835.80.008, Ecosystem Stability Analysis (ESA): towards a quantitative guide for user oriented soil management and ecological soil quality assessment. Projectleiders: Dr. J. Kammenga, WUR - Laboratorium voor Nematologie, Prof. H.A. Verhoef en Dr. C.A.M. van Gestel, VU - Faculteit voor Aard- en Levenswetenschappen, Prof. P.C. de Ruiter, UU - Faculteit Ruimtelijke Wetenschappen en Dr. J. Bloem, Alterra - Research Instituut voor de Groene Ruimte. Looptijd: 2001 -2005. Informatie: jan.kammenga@wur.nl.*

### 11. Verlaten op de Veluwe

Dit onderzoek is gericht op het proces van natuur- en vegetatieontwikkeling in een tijdreeks van verlaten landbouwgronden op de Veluwe, teneinde een uitspraak te kunnen

doen over de haalbaarheid en tijd, die gemoeid is met het bereiken van het gewenste einddoel of doelvegetatie. Beperkingen worden o.a. gevormd door de traagheid van de ontwikkeling van de bodemgemeenschap, de eruit voortkomende omzettingssnelheden van koolstof en stikstof en het hoge fosfaatgehalte van de gronden. Vegetatiekundig en bodembologisch veld- en experimenteel onderzoek in het laboratorium vormen de middelen. De effectiviteit van methoden om de beoogde natuurontwikkeling te bevorderen en te versnellen zijn eveneens in onderzoek.

*Project 835.80.011, Soils in transition: patterns and processes in soil ecosystems during the restoration of natural ecosystems on former agricultural land. Projectleiders: Prof. W.H. van Putten en Dr. W. de Boer, NIOO-KNAW, Centrum voor Terrestrische Ecologie en Prof. P.C. de Ruiter, UU - Faculteit Ruimtelijke Wetenschappen. Looptijd: 2002 - 2007. Informatie: putten@nioo.knaw.nl.*

### 12. Buitendijkse belemmeringen

Het plan 'Ruimte voor de Rivier' gaat gepaard met natuurontwikkeling in het buitendijkse gebied langs de grote rivieren. De hoge gehalten aan fosfaat, nitraat en sulfaat van deze gronden in Nederland remmen echter de gewenste ontwikkeling van

kenmerkende, rivierbegeleidende vegetaties. Het onderzoek is erop gericht de verantwoordelijke biogeochemische mechanismen bloot te leggen, o.a. door vergelijking met meer natuurlijke riviersystemen elders in Europa en door experimenteel onderzoek. Het onderzoek bevat tevens een microbiologische component, met name in verband met de zwavelhouding van de gronden. Centraal staat de vraag naar de haalbaarheid van de beoogde natuurontwikkeling in de Nederlandse situatie.

*Project 835.80.010, Biogeochemical constraints for sustainable development of floodplains in riverine regions. Projectleiders: Prof. J.G.M. Roelofs en Dr. P.M. Lamers, RU - Afdeling Aquatische Ecologie en Milieubiologie, Dr. J.T.A. Verhoeven, UU - Afdeling Geobiologie en Prof. H.J. Laanbroek, NIOO-KNAW, Centrum voor Limnologie. Looptijd: 2002 - 2006. Informatie: l.lamers@science.ru.nl.*



*Monsters uit het Haringvliet in een eb en vloed experiment*

### Colofon

SKB-Nieuws is een uitgave van de Stichting Kennisontwikkeling en kennisoverdracht Bodem en verschijnt drie keer per jaar.

SKB is opgericht voor het uitvoeren van een stimuleringsprogramma over bodemkwaliteit.

SKB werkt aan nieuwe oplossingen voor knelpunten rond bodemkwaliteit. Daarbij gaat het om bodemkwaliteit die past bij het beoogde gebruik, zoals voor wonen, landbouw, natuur, maar ook voor opslag van stoffen en drinkwaterwinning. Mogelijke knelpunten zijn dan ook erg divers en kunnen naast technisch/inhoudelijk ook procesmatig van aard zijn.



### Foto's

Henk Leenaers, Katja Heister, Paul Kardol, Roos Loeb, Marian Langevoort en Marysia Tobor

### Tekst

Henk Leenaers en Helenius Rogaar

### Vormgeving

van Lint Vormgeving, Zierikzee

### Druk

van Norden, Gouda

### SKB

Büchnerweg 1, Postbus 420  
2800 AK Gouda  
tel 0182 540690  
fax 0182 540691  
e-mail skb@cur.nl  
site www.skbodem.nl

# Scenes uit een bodemhuwelijk

Terugblik op vijf jaar fundamenteel bodemonderzoek binnen Trias

**Eind jaren negentig legden NWO, Delft Cluster en SKB een deel van hun budget bij elkaar om met zijn drieën een fundamenteel bodemonderzoeksprogramma te starten, onder de naam Trias. Vijf jaar later kijken we met John Marks van NWO en 'formateur' Huib van Heel terug op de verlovingsperiode die aan dit bijzondere bodemhuwelijk voorafging. Ook Trias-programma-begeleider Helenius Rogaar mengt zich in de discussie.**



Lekkerkerk mag bodemsanering dan even hoog op de politieke agenda hebben geplaatst, twee decennia na dit geruchtmakende incident zat het fundamenteel/wetenschappelijk bodemonderzoek al weer behoorlijk in het slop. Natuurlijk, het Nederlandse Onderzoeksprogramma voor Biologische In-situ Sanering (NOBIS) timmerde stevig aan de weg met praktijkonderzoek, maar dat innovatieprogramma werd toch

vooral bevolkt door ingenieurs.

En het Programma Geïntegreerd Bodem Onderzoek (PGBO), de wel erg slanke opvolger van het omvangrijke Speerpuntprogramma Bodemonderzoek, richtte zich meer op het agenderen van onderwerpen voor onderzoek of beleid dan op het uitvoeren van bodemonderzoek. En dat terwijl de toenemende aandacht voor 'natuurlijke' afbraak van bodemverontreiniging - als alternatief voor het

gebruikelijke pompen, ventileren en injecteren - de ene wetenschappelijke vraag na de andere opriep. En ook de plannen om landbouwgrond terug te geven aan de natuur en het winterbed van Rijn en Maas te verruimen vroegen om een beter wetenschappelijk fundament. Geen wonder dat SKB, de opvolger van NOBIS en PGBO, dit wetenschappelijke gat in de kennisinfrastructuur snel probeerde te dichten. Na aftastende gesprekken met Delft Cluster en NWO als mogelijke partners voor een nieuw, fundamenteel bodemonderzoeksprogramma, trok SKB-directeur Harry Vermeulen op 5 november 1999 de stoute schoenen aan: hij vraagt Huib van Heel, destijds hoogleraar milieukunde in Delft, te bemiddelen in deze prille bodemliefde.

### Interactie

Al is John Marks al enige jaren weg uit de Nederlandse onderzoekswereld, zijn herinneringen aan deze periode zijn levendig en gedetailleerd. Niet zonder trots legt de voormalig directeur Aard- en Levenswetenschappen, inmiddels werkzaam bij de European Science Foundation in Straatsburg, uit waarom dit betrekkelijk kleine bodemonderzoeksprogramma destijds zo belangrijk was: 'Bij NWO discussieerden we in die tijd veel over hoe we fundamenteel onderzoek beter aan maatschappelijke behoeften konden koppelen. Die ontwikkelingslijn was een uitvloeisel van onze eigen strategie en stond los van het praktische financiële motief om geldstromen uit drie programma's met elkaar te verbinden. Ook

### In dit nummer

|                                      |    |
|--------------------------------------|----|
| Scenes uit een bodemhuwelijk         | 1  |
| Trias verdient een toekomst          | 4  |
| Boksen met bacteriën                 | 5  |
| Fostaaterfenis                       | 6  |
| Vijf jaar processen in de ondergrond | 7  |
| Bodemjuwelen                         | 8  |
| Twaalf keer Trias                    | 10 |

wilden we wetenschappers meer interesseren in multidisciplinair onderzoek. Water was al geïdentificeerd als belangrijk onderwerp en vanwege de interactie tussen water en bodem paste de verbinding met SKB en Delft Cluster prima in dit streven. Zeker omdat SKB zich heel sterk richtte op toepassing van wetenschappelijke bodemkennis door gebruikers en in zijn programma juist op zoek was naar een meer fundamentele component. Voor NWO was samenwerking in Trias dan ook een prachtkans.'

### Tendertreinen

Hoe graag de betrokken partijen ook wilden samenwerken, nadat Huib van Heel door SKB-directeur Harry Vermeulen was gevraagd om als 'formateur' de prille toenadering verder te begeleiden, had hij er een hard hoofd in. De voormalig directeur van chemieconcern Hoechst herinnert het zich zo: 'Omdat iedere partij al een eigen tenderprocedure had, verwachtte ik een buitengewoon taaie club aan tafel, die zich zou verliezen in discussies over regeltes.' Maar die mening moest hij al snel bijstellen. Ondanks de grote verschillen in stijl tussen de professoren van de 'geldverdeelclub' NWO en de praktisch ingestelde 'researchmannen' en 'civielen' van SKB en DC, was deze bodemverloving een groot succes. Want al kenden de aanwezigen elkaar amper, in de constructieve vergaderingen hing al gauw een sfeer van 'jongens, dit gaan we gewoon doen', aldus Van Heel: 'Met een beetje rommelen aan de terms of reference lukte het in drie bijeenkomsten om de drie tendertreinen in één spoorboekje te krijgen.' Ook over de inhoud was op

hoofdpijnen overeenstemming bereikt. Het ging niet uitsluitend over de overlap tussen de drie programma's, herinnert Van Heel zich, maar over de omhullende: wat de markt vraagt én wat de nieuwsgierigheid zoekt. Terugkijkend concludeert Van Heel dan ook dat hij - met dank aan Han de Wit, zijn razendsnelle en toegewijde secretaris - 'zelden zo'n makkelijk voorzitterschap heeft gehad'. Op 23 december 1999, nog geen twee maanden na het begin van de verloving, werd het bodemhuwelijk voltrokken met de oplevering van zijn Trias-rapport.

### Verstandshuwelijk

Al benadrukken Marks en Van Heel het succes van de snelle samenwerking vooral vanuit de inhoud, desgevraagd geven ze toe dat er ook praktisch argumenten bestonden voor de spoedige toenadering. Zo kwam wetenschappelijk onderzoek niet in aanmerking voor volledige ICES/KIS-financiering - de op versterking van de kennisinfrastructuur gerichte pot met aardgasbaten. En omdat productontwikkeling in Trias geen rol speelde was cofinanciering door bedrijven kansloos. Door nu een deel van hun ICES/KIS-middelen te koppelen aan de tweede geldstroom van NWO wisten Delft Cluster en SKB het financieringsplaatje in Trias toch rond te krijgen. Met een volmondig ja beaamt Marks van NWO dan ook dat het niet alléén ging om liefde op het eerste gezicht. Trias was weliswaar geen moetje, maar in het begin wel degelijk een verstands-huwelijk. Maar omdat de partners elkaar al gauw leerden vertrouwen ontstond er volgens

Marks een natuurlijke taakverdeling, waarbij het beste van de verschillende werkwijzen bij elkaar werd gebracht: als research council zou NWO peer reviews verzorgen van de onderzoeksvoorstellen, terwijl DC en SKB de wetenschappelijke kennis naar de praktijk zouden brengen.

Na de start van Trias verminderde de betrokkenheid van Marks en Van Heel. De laatste herinnert zich wel dat hij zich zorgen maakte over de herverdeling van de bij elkaar gelegde middelen: 'Ik was bang dat de gemeenschappelijke liefde zou worden bedreigd door eigenbelang'. Zouden de drie partijen niet proberen hun eigen aandeel weer uit de Trias-pot terug te halen?, zo vroeg hij zich af. Marks was vooral bang dat Trias te kampen zou krijgen met spanningen tussen korte termijn resultaatgerichtheid van SKB en DC en de lange termijn onderzoeksgerichtheid van de wetenschappers: 'Daarom stelden we begeleidings-teams in met mensen uit de praktijk, die de onderzoekers bij de les konden houden.' Na vijf jaar ervaring als programmabegeleider van Trias kan Helenius Rogaar beide heren inmiddels geruststellen. Samen met Theo Saat van NWO volgt hij de zesentwintig onderzoekers in twaalf Trias-projecten op de voet: 'Uiteraard stellen de begeleiders van SKB steeds opnieuw de vraag 'Wat gaan we hier in de praktijk mee doen?', maar eigenlijk mag je van dit type onderzoek dergelijke concrete antwoorden niet verwachten.' Volgens hem moet de ontwikkelde kennis dan ook landen bij de onderzoeksbegeleiders: op de universiteiten zodat vervolgonderzoek kan worden geprogrammeerd en bij kennisinstellingen als TNO om met praktische tools bedrijven te adviseren. 'Dáár zit wat mij betreft de crux,' aldus Rogaar, 'want Trias zélf is er om de wetenschap op gang te houden, niet om tools op te leveren.'

### Uitblinken in de breedte

Of Trias al tot wetenschappelijke top-publicaties heeft geleid? Tot zijn spijt moet Rogaar het antwoord nog

even schuldig blijven. Er wordt nu hard gewerkt aan de proefschriften, in 2007 verwacht hij de eerste peer reviewed wetenschappelijke publicaties. Maar eerlijk gezegd denkt hij dat Trias vooral uitblinkt in de breedte, en niet in de hoogte. 'Hoe eigenwijs onderzoekers soms ook zijn en hoe verschillend de denkwerelden waarin ze zijn opgeleid, binnen dit programma hebben ze elkaar gevonden.' Zo werkten deskundigen op het gebied van modellen, labonderzoek en veldwerk intensief samen aan het chemo- en elektro-osmotisch transport van stoffen door kleilagen onder een baggerdepot. En zo bracht Trias de Delftse en Wageningse denkwerelden bij elkaar over het gedrag van arseen in grondwater. John Marks zal dit als muziek in de oren klinken, want met de opzet van Trias hoopte NWO jonge mensen op te leiden in een multidisciplinaire context, en bruggen te slaan tussen vakgebieden. Dat lijkt dus gelukt.

Inmiddels loopt Trias op zijn einde. Proefschriften zijn in de maak, publicaties worden voorbereid en de eerste AIO's, veelal afkomstig uit het buitenland, keren binnenkort terug naar hun vaderland. En al hebben NWO, DC en SKB te kennen gegeven de samenwerking in Trias te willen voorzetten, veranderingen in de kenniswereld lijken na vijf jaar huwelijksrouw toch een wig te drijven tussen de drie geliefden. Zo krijgt bodem dermate weinig aandacht in de Bsik-programma's over water, ruimte en klimaat - nieuwe onderwerpen in de derde ronde ICES/KIS - dat financiering uit die hoek niet voor de hand ligt. En omdat NWO niet als trekker kan optreden en SKB niet over voldoende middelen beschikt, zal het vervolg van Trias zich waarschijnlijk beperken tot een gezamenlijke onderzoeksprogrammering, dus zonder extra middelen.

### Achterover leunen

En dus is er ook reden voor enige somberheid, vindt Marks, want mocht Trias in zijn huidige vorm nu al stoppen dan is er weinig kans op



een blijvende cultuurverandering. 'Willen we echt toe naar geïntegreerde onderzoeksprogrammering, dan zijn er krachtiger mechanismen nodig. De Bsik-regeling is niet het juiste antwoord,' aldus Marks, die zich realiseert dat het stapelen van publieke middelen, zoals nu in Trias, straks niet meer mogelijk is. Oud en wijs als hij is, trekt Van Heel uit het mogelijke einde van Trias een andere, naar eigen zeggen 'meta-'conclusie: 'Alle specialisten die hard werken en succes hebben, moeten er mee leren leven dat hun vakgebied na enkele jaren verdwijnt. Stel je voor dat we nu op bodemverontreiniging zouden reageren op de manier van Lekkerkerk. Dán hadden we het pas echt slecht gedaan.' Rogaar kijkt daar weer anders tegenaan: 'Inderdaad is de angst voor bodemverontreiniging weggenomen en is het vakgebied

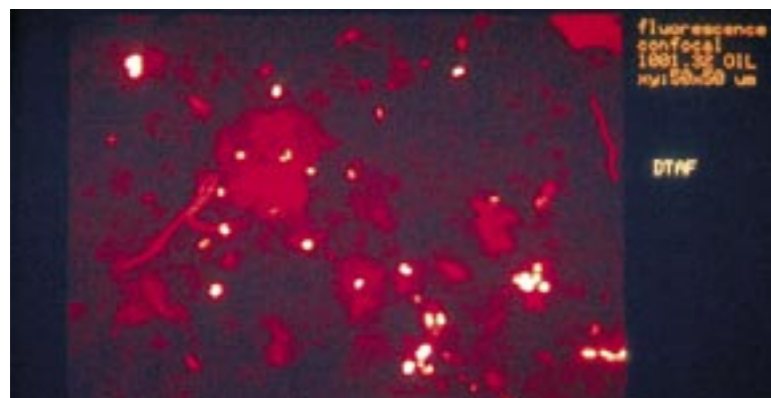
inmiddels volwassen. Maar toch kun je nu niet achteroverleunen. Als overheid moet je onderzoeksgroepen in stand houden om met de opgebouwde kennis andere maatschappelijke problemen op te lossen. Zo kunnen we met de huidige bodemkennis ook uitspraken doen over de bedreiging van het oppervlaktewater door verontreinigd grondwater, zoals bij de cadmiumproblematiek in De Kempen. Evenals lucht en water is bodem een voorwaarde voor het leven. Kennis daarover mag je nooit verwaarlozen.' Voor de BV Nederland is het maar te hopen, zo kun je concluderen, dat de noodgedwongen afkoelingsperiode van dit gelukkige bodemhuwelijk niet eindigt in een scheiding.

Henk Leenaers

## Grote schoonmaak

Dat Trias het initiatief is van drie samenwerkende partijen - SKB, NWO en Delft Cluster - is op te maken uit de naam, die staat voor Tripartite Approach to Soil Systems processes. Uitvoerders van het bodemonderzoek zijn de universiteiten van Amsterdam, Delft, Nijmegen, Utrecht en Wageningen en de onderzoeksinstellingen Alterra, TNO en NIOO. Binnen Trias zijn het niet louter hoogleraren die de promovendi en postdocs begeleiden, ook vertegenwoordigers van ingenieursbureaus praten mee over aanpak en resultaten - voor NWO een novum. Maar niet alleen de brede samenwerking en praktijkgerichte aanpak maakt Trias bijzonder. Want met het centrale onderzoeksthema - de afstemming van de bodemkwaliteit op het beoogde bodemgebruik - ging dit onderzoeksprogramma al in 2000 op zoek naar de wetenschappelijke basis van wat enkele jaren later nationaal bodembeleid zou worden. Inmiddels heeft de rijksoverheid ook formeel het zogeheten multifunctionaliteits-beginsel - het geschikt maken van de bodem voor alle mogelijke functies - ingeruild voor het realistischere streven naar duurzaam bodemgebruik. Geen wonder, want het opruimen van alle 600.000 verontreinigde locaties op de oude manier is onbegonnen werk. Maar goed dat Trias intussen liet zien dat het bodemsysteem zélf ook een handje meehelpt bij deze grote schoonmaak onder de grond.

<http://www.nwo.nl/trias>



# Trias verdient een toekomst

**Hoewel nog niet alle onderzoeksprojecten van het Trias-programma zijn afgerond vinden we toch de tijd gekomen om de opzet ervan te evalueren. Vandaar deze special van SKB Nieuws. Een evaluatie op dit moment is van belang omdat de resultaten hiervan kunnen bijdragen aan de discussie of en hoe het strategisch wetenschappelijk onderzoek op bodemgebied in Nederland kan worden voortgezet.**



Trias is een strategisch/wetenschappelijk onderzoeksprogramma op het gebied van bodem dat in samenwerking met NWO en Delft Cluster wordt uitgevoerd. Het programma heeft een budget van ruim 4 miljoen euro, waarvan SKB de helft heeft bijgedragen. Bij de opzet van het programma en de keuze van de onderzoeksprojecten is gebleken dat je op verschillende manieren naar de kwaliteit van onderzoek kan kijken. Voor NWO staat de wetenschappelijke kwaliteit van het onderzoek voorop: is het een nieuw onderwerp dat wetenschappelijk uitdagend en interessant is? Voor Delft cluster is de aansluiting op de agenda van de kennisinstellingen van belang: draagt het onderzoek bij aan de wetenschappelijke competentie van de uitvoerende instellingen? Voor SKB is de toepasbaarheid van de ontwikkelde kennis in de praktijk van belang: kwaliteit is 'fitness for use'. Uiteindelijk blijkt het goed mogelijk onderzoeksprojecten te selecteren die zowel relevant zijn voor de praktijk als interessant voor de wetenschap.

## Brug naar de praktijk

De ervaringen met de uitvoering van het Trias-programma wijzen uit dat de uitvoering van onderzoek dat

potentieel bruikbaar is voor de praktijk veel extra inspanning kost. Er zijn niet veel mensen die enerzijds voldoende praktijkervaring hebben en tegelijkertijd de inhoud en werkwijze van wetenschappelijk onderzoek begrijpen en kunnen beoordelen op de potentie voor de bruikbaarheid in de praktijk. Zij moeten ook nog de brug kunnen slaan met potentiële belanghebbenden bij de onderzoeksresultaten die nog dichterbij de praktijk staan. Het vinden van de juiste projectbegeleiders en samen met hen formeren van begeleidingscommissies en organiseren van praktijkworkshops heeft uiteindelijk wel veel meerwaarde opgeleverd. Ook de eis dat meerdere onderzoeksgroepen in een onderzoek moeten samenwerken is voor onderzoekers een lastige opgave. Vervolgens wordt ook nog gevraagd op het congres BodemDiep (ook wel Soil and Water genoemd) onderzoeken en resultaten met andere projecten uit te wisselen. De vasthoudendheid waarmee door het programma-management aan deze uitgangspunten wordt vastgehouden levert uiteindelijk veel waardering op.

## Toeval of niet?

De uitvoering van strategisch/wetenschappelijk onderzoek houdt een zeker risico in. Het is lang niet altijd zeker dat de beoogde resultaten worden gehaald en of deze ook bruikbaar blijken. Door de intensievere samenwerking met de praktijk blijkt deze onzekerheid echter ook positieve kanten te hebben. Een verschuiving van stagnerend ecologisch onderzoek van de macro bodemfauna naar micro bodemfauna levert alsnog interessante en bruikbare

resultaten op. Er worden verrassende verbanden gelegd tussen macro bodemchemie en bodemecologie, en voor electro-osmotische transportverschijnselen blijkt onverwacht belangstelling te bestaan voor de opslag van afvalstoffen in de bodem. Hoewel deze positieve verrassingen gebaseerd zijn op toeval draagt de manier waarop het programma is georganiseerd naar de overtuiging van betrokkenen bij aan het ontstaan van dit toeval.

## 'Never change a winning team'

De positieve ervaringen met het Trias-programma vragen om een vervolg van deze opzet. Het is dan ook te betreuren dat er onvoldoende financiers kunnen worden gevonden om een strategisch/wetenschappelijk onderzoeksprogramma op bodemgebied voort te zetten. Temeer daar een goede onderzoeksinfrastructuur en samenwerking tussen onderzoeksinstellingen van strategisch belang is voor de positie van het Nederlands onderzoek in Europees verband. De R&D-budgetten uit Brussel worden steeds belangrijker voor de uitvoering van onderzoek en ook op bodemgebied zijn er aanzienlijke onderzoeksbudgetten te verdelen. De ervaringen met het Trias-programma tonen ook aan dat resultaten worden geboekt die op voorhand niet waren te voorzien. In dit verband is de uitspraak dat we al genoeg kennis op bodemgebied hebben ontwikkeld onterecht: we kennen de onbekende mogelijkheden niet. De ontwikkeling van gebiedsgericht bodem- en grondwaterbeheer en duurzaam bodemgebruik kan een ondersteuning met nieuwe kennis en inzicht in lange termijnprocessen nog goed gebruiken.

## Nationale onderzoeksagenda

SKB heeft de indruk dat de kennisinstellingen hun verantwoordelijkheid in deze nemen om te komen tot de gewenste gezamenlijke bodem-

onderzoeksagenda. SKB zal zich blijven inzetten voor samenwerking op het gebied van bodemonderzoek in Nederland en Europa en afstemming en communicatie met de praktijk. Wij ijveren voor een platform voor instellingen die bodemonderzoek uitvoeren en mensen die de brug kunnen slaan tussen onderzoek en praktijk. Dit platform willen we

betrekken bij de formulering van een onderzoeksagenda bodem voor Nederland. Ook ijveren wij voor een rol van de praktijk bij de vaststelling van deze agenda en de begeleiding van onderzoeksprojecten. Samenwerking van onderzoeksinstellingen bij bodemonderzoek, vooral met het oog op Brussel, zullen wij naar vermogen blijven stimuleren.

Wij rekenen erop dat ook de departementen die bodemonderzoek direct of indirect financieren, SKB bij haar streven naar meer samenhang en samenwerking bij bodemonderzoek zullen steunen. Want Trias verdient een toekomst.

*Harry Vermeulen,  
SKB programmadirecteur*

# Boksen met bacteriën

**Binnenkort hoopt Marysia Tobor te promoveren op haar onderzoek naar de effecten van bodemverontreiniging op bodemlevensgemeenschappen. Vijf vragen aan haar promotor, Peter de Ruiter, milieuhogleraar aan de Universiteit van Utrecht.**



## Welke wetenschappelijke vraag wil dit onderzoek beantwoorden?

'We willen er achter komen hoe ecosystemen reageren als ze keer op keer aan stress worden blootgesteld. Wat gebeurt er in een proefveld als we eerst een portie koper toevoegen en daarna de temperatuur verhogen? Hangen de micro-organismen na de eerste klap als uitgetelde bokkers in de touwen, klaar voor een snelle knock-out? Of leren ze juist hoe ze de volgende klap moeten opvangen? Het blijkt dat micro-organismen na een eerste dosis koper ook prima overweg kunnen met een volgende dosis zware metalen, zoals lood. Als de tweede klap lijkt op de eerste, blijft het ecosysteem stabiel. Maar datzelfde met koper belaste systeem blijkt wel extra kwetsbaar voor een ánder type stress, zoals een hitteshock of een portie zout. Maar hoe dan ook, het overleven van stress zoals kopertoxiciteit kost altijd extra energie, en die kan dus niet meer worden besteed aan groei of reproductie.'

## Wat is de relevantie van het onderzoek?

'We denken dat je straks aan de bodembioïologie kunt zien of een ecosysteem gestrest is. Want als toxiciteit inderdaad energie kost, dan hebben gestreste micro-organismen een ander energiebudget. Dat kun je vaststellen door te meten hoe de verhoudingen liggen tussen biomassa, groei en ademhaling van bacteriën. Onder stress wordt minder voedsel omgezet in nieuwe biomassa (groei) en meer in CO<sub>2</sub> (ademhaling). Nu meten we alleen het aantal bodembacteriën, maar dat is ook afhankelijk van de hoeveelheid organische stof. Dat zegt dus minder. Als algemene indicator voor stress kun je dus veel beter het energiebudget van bacteriën meten dan alleen het aantal bacteriën te tellen.'

## Met wie hebben jullie in dit onderzoek samengewerkt?

'Marysia is aangesteld bij de Universiteit, maar voert haar onderzoek uit bij kennisinstelling Alterra, waar ze wordt begeleid door Jaap Bloem. En in de begeleidingscommissie van Trias zitten nogal wat eindgebruikers, onder andere van TNO en BioClear. Verder is het onderzoek breed opgezet, met inbreng van disciplines als bodemkunde, microbiologie en mathematisch modelleren.'

## Hoe verliep het contact met de praktijkgerichte begeleidingscommissie?

'Natuurlijk mag je spanning verwachten tussen praktijk en wetenschap, maar daar hebben we weinig van gemerkt. Onderzoek naar het energiebudget van bacteriën is inderdaad nogal fundamenteel van aard. Maar toch hadden de begeleiders van Trias oog voor het lange termijn perspectief, namelijk dat het bodembeleid gebaat is bij indicatoren voor het omgaan met de toxiciteit van zware metalen. Mijn stelling blijft dat in promotieonderzoek de wetenschap voorrang heeft op de toepassing.'

## Wat motiveert je om fundamenteel onderzoek te doen naar bacteriën?

'Minstens zo belangrijk als het onderwerp is het doen van onderzoek zélf mijn passie. Of het nou gaat over fysica of microbiologie, het leuke aan onderzoek is om heel scherp en heel zuiver na te denken over heel moeilijke vragen, want de makkelijke zijn al lang beantwoord. Dus of je nou hockey speelt of voetbal, voor mij is het belangrijk om in de hoogste competitie te spelen. En net als in topsport moet je daar als wetenschapper alles voor over hebben, en het geduld hebben om ook aan de meest onbenullige details te werken. Maar al heb ik mijn hart verpand aan het spel van wetenschappelijk onderzoek, net als mijn collega's in Utrecht is mijn innerlijke drive ook om het milieu beter te maken. We zijn allemaal een beetje arts.'

# Fosfaaterfenis

**Ecologen uit Nijmegen proberen er achter te komen waarom het lang niet altijd lukt de natuurlijke vegetatie in rivieruiterwaarden te herstellen. Vijf vragen aan projectleider Jan Roelofs, hoogleraar aquatische ecologie.**

## Welke wetenschappelijke vraag wil dit onderzoek beantwoorden?

'We wilden vaststellen in hoeverre de kwaliteit van het rivierwater de mobiliteit van nutriënten beïnvloedt.' Het is bekend dat in de hoge, droge delen van de uiterwaarden de fosfaaterfenis uit de landbouw het herstel van de oorspronkelijke vegetatie belemmert. Maar we zijn er nu achter gekomen dat ook de lage delen van het winterbed, zoals de met wilgen begroeide oude rivierarmen, juist hebben te lijden van de aanvoer van fosfaat en sulfaat uit het achterland. Want als in bovenstroomse landbouwgebieden nitraat uitspoelt wordt het weliswaar door pyriethoudende afzettingen gedenitrificeerd, maar tegelijkertijd wordt sulfide omgezet in sulfaat. In stroomafwaartse wetlands leidt dat sulfaat tot sterfte onder de doelsoorten, waaronder zeggen en kruiden, want die zijn veel gevoeliger dan de tolerante, maar ongewenste soorten als liesgras en rietgras. En tijdens zomeroverstromingen leidt de aanvoer van fosfaat, vanwege de hoge microbiologische activiteit bij warmte, tot groei van de giftige blauwwier. Met massale vissterfte tot gevolg.'

## Wat is de relevantie van het onderzoek?

'Uit onze resultaten kun je concluderen dat het niet verstandig is om tijdens warme perioden water te bergen in moerasgebieden. Dat leidt namelijk tot sterfte onder planten en vissen. En wil je komen tot natuurontwikkeling in rivieruiterwaarden, dan moet je daar iets doen aan de fosfaatproblematiek. Zo hebben we al eens geadviseerd om de 40 centimeter dikke, fosfaatverzadigde toplaag te verwijderen. Dat leidde tot de gewenste natuurontwikkeling.

Zo'n aanpak zou je ook prima kunnen combineren met het afgraven van de uiterwaarden om meer ruimte te maken voor de rivier. Nu zie je vaak dat de bouwvoor weer wordt teruggelegd na het verwijderen van de onderliggende klei.'

## Met wie hebben jullie in dit onderzoek samengewerkt?

'Bij ons onderzoek in de Maas-uiterwaarden hebben we intensief samengewerkt met de beheerder, het Limburgs Landschap. We hebben zelfs speciaal een proefschrift voor die opdrachtgever geschreven. Op wetenschappelijk gebied hebben we samengewerkt met de Universiteit Utrecht, die zich richtte op de stikstofkringloop, en met het NIOO, dat de microbiologische component voor zijn rekening nam. In Nijmegen deden we het onderzoek aan fosfaat. Eigenlijk is onze faculteit groot genoeg om het hele onderzoek met een Nijmeegs consortium uit te voeren, maar samenwerking vergrootte de kans op honorering door Trias. We gaan daar dan strategisch mee om. Natuurlijk, samenwerking dwingt je om op een andere manier naar je eigen werk te kijken, maar er zitten ook nadelen aan.



Want samenwerken lukt toch het best met iemand die tegenover je zit, en niet 100 kilometer verderop. Niet voor niets zie je dat de biologie-faculteit op enkele universiteiten wordt verplaatst om dichterbij de chemici te kunnen zitten.'

## Hoe verliep het contact met de praktijkgerichte begeleidingscommissie?

'Soepel, want in Nijmegen zijn we wel gewend aan de praktijk. Vijftig procent van het onderzoek gebeurt in opdracht van LNV. We vinden het hier wel prettig als er op korte termijn iets met onze resultaten wordt gedaan. Ik ben dan ook blij dat we tegenwoordig zelfs bij NWO met toepassingsgericht onderzoek terecht kunnen.'

## Wat motiveert je om onderzoek te doen?

'Nieuwe dingen ontdekken, dat maakt het interessant. En twee weken geleden hadden we een publicatie in Nature, dat geeft ook een kick. Maar uiteindelijk wil ik ook een bijdrage leveren aan de verbetering van de natuur- en milieukwaliteit. Zo zijn er al vele honderden restauratieprojecten uitgevoerd als vervolg op ons wetenschappelijk onderzoek. Trots wandel ik later weer rond in zo'n herstelde meander langs de Maas.'



# Vijf jaar processen in de ondergrond

**Zullen wij ooit instaat zijn om de beweging van PER en TRI in de ondergrond goed te voorspellen en te monitoren? Wat zijn de meest bepalende factoren voor de 'stabiliteit' van een verontreinigingspluim in het grondwater? Hoe ondoorlatend is een kleilaag in een situatie met zoet en zout water? Kunnen we de biologische activiteit van verontreiniging afbrekende bacteriën in-situ meten? Is er ook afbraak in de bronzone? Is het mogelijk om een in-situ filter te creëren om arseen uit het grondwater te strippen in Bangladesh?**

Dit zijn slechts enkele van de vragen waar onderzoekers antwoorden op zoeken binnen het hoofdthema 'Processen in de ondergrond' van het Trias-programma. Ik heb de afgelopen 5 jaar het bijzondere voorrecht gehad om lid te zijn van de programma-commissie van Trias en om SKB te vertegenwoordigen in de begeleidingscommissies van een aantal projecten. Daardoor heb een groep van jonge mensen zien ontwikkelen als onderzoekers en wetenschappers. Onderzoekers die voor ons, de praktijk, kennis hebben ontwikkeld. Aan ons is nu de uitdaging om de resultaten uit de verschillende projecten van deze onderzoekers tot ons te nemen en daarmee de aanpak van de bodemproblematiek te verbeteren.

Een van de dingen die mij het meest is bijgebleven van de afgelopen jaren is de diversiteit aan onderzoek dat is uitgevoerd. Uiteraard is er onderzoek gedaan in het veld; dit veldonderzoek vond onder andere plaats bij de stortplaats Bannisveld nabij Boxtel, de ondergrondse faciliteit in de Boomse klei van het nucleair onderzoeks-instituut SCK-CEN (België) en zelfs op een locatie in Australië (de Eden Hill site). In het laboratorium zijn een groot aantal hoogstandjes gerealiseerd, zo zijn er in de geocentrifuge van GeoDelft experi-

menten uitgevoerd om 'real time' de stroming van PER te meten. Hierbij zijn tegelijkertijd de veranderingen in druk en de saturatiegraad van zowel PER als water in het monster gemeten tijdens het experiment. Hiervoor zijn speciale meetinstrumenten ontwikkeld die nu liggen te wachten op verdere ontwikkeling. In het laboratorium van de Universiteit Utrecht zijn zeer nauwkeurige experimenten ontworpen en uitgevoerd waarbij de elektrische en osmotische effecten zijn gemeten die optreden als er water stroomt door een kleilens in nabijheid van een zoutgradiënt. De resultaten van deze experimenten zijn gepubliceerd in gerefereerde wetenschappelijke tijdschriften en kunnen zich meten met de wetenschappelijke wereldtop.

Een ander uniek aspect van het onderzoek binnen Trias is de intensieve samenwerking tussen onderzoekers. Hierdoor is het mogelijk geworden om theoretische inzichten te koppelen aan experimentele gegevens uit laboratorium en veld met behulp van een sterke (numeriek) wiskundige insteek. Doordat promovendi van veelal verschillende universiteiten intensief met elkaar samenwerkten, konden ze sneller van elkaar leren, zich specialiseren in de dingen waar ze goed in zijn en de resultaten met elkaar delen. Deze samenwerking

heeft volgens mij over de brede linie van het Trias-programma kwaliteitsverhogend gewerkt. Bovendien zie je dat deze (door het programma afgedwongen) multidisciplinaire samenwerking geleid heeft tot een nieuwe generatie multidisciplinaire onderzoekers, die biologische technieken weten te koppelen met numeriek wiskundige model-concepten van meerfasen stroming. Een ander groot voordeel van deze samenwerking is dat de onderzoekers een groot aantal persoonlijke vaardigheden ontwikkeld hebben om deze samenwerking mogelijk te maken.

Helaas komt aan alle goede dingen een eind, zo ook aan het Trias-programma. Het resultaat van het onderzoek is een grote hoeveelheid kennis, vastgelegd in tijdschriftartikelen en proefschriften. Een nieuwe generatie aan gepromoveerden is afgeleverd. Wij als praktijk hebben de verantwoordelijkheid om wat met deze kennis te doen. Wellicht is een goede eerste stap het integreren van de nieuwe groep gediplomeerde wetenschappers in ons netwerk zodat we snel kunnen weten wat een stationaire pluim bepaalt. Deze kennis, naast veel meer, ligt nu voor het grijpen!

*Timo Heimovaara  
Groundwater Technology*

# Bodemjuwelen

**Het belangrijkste resultaat van vier jaar bodemonderzoek door Trias, zo blijkt uit een recente evaluatie, bestaat uit vele onverwachte resultaten en talrijke contacten met internationale onderzoeksgroepen. De uitdaging voor SKB is dan ook om de Trias-'juweeltjes' die nu op de plank liggen, snel naar de praktijk te brengen en het internationale netwerk in stand te houden. 'We moeten nu ook investeren in structuren, niet alleen in onderzoek.'**

In de trein op weg naar Duitsland had Ruud Schotting van de Universiteit Utrecht opeens een *Aha-Erlebnis*. Krabbelend op een stukje papier leverde hij het wiskundig bewijs voor het tot dan toe onbegrepen experimentele gegeven dat de lengte van een stationaire verontreinigingspluim omgekeerd evenredig is met het transport in de breedte. 'Ruud, dit kan niet kloppen,' reageerde een collega verbijsterd bij diens thuiskomst, 'dit gaat in tegen elke intuïtie.' Maar Schotting zette door, werkte zijn mathematisch formulering helemaal uit en ziet zijn bevindingen binnenkort gepubliceerd in het gerenommeerde blad *Water Resources Research*. Zonder complexe numerieke modellen kunnen ingenieurs voortaan op de achterkant van een bierviltje uitrekenen wanneer een pluim stationair wordt.

## Creativiteit

Tijdens de evaluatie van het Trias-bodemonderzoekprogramma in Gouda blijkt dat Schotting's onverwachte ontdekking niet op zichzelf staat. Keer op keer blijkt dat in een onderzoeksomgeving waarin verschillende disciplines met elkaar samenwerken de creativiteit als vanzelf gaat floreren. En dat verrassende resultaten dan niet lang op zich laten wachten. Zo ontdekte de groep van Guus Loch in Utrecht dat ondergrondse zoutgradiënten het transport van stoffen significant kunnen beïnvloeden - niet als tweede orde effect van enkele procenten, zoals vaak wordt gedacht, maar als dominant effect op grote tijdschalen. Extreem belangrijk voor ondergrondse opslag, concludeerde Loch terecht, en wist de

interesse te wekken van het Belgisch nucleair onderzoeksinstituut in Mol dat onderzoek doet naar opslag van kernafval in Boomse klei, 200 meter onder de grond. En wat te denken van de 'toevallige' ontdekking van Jan Gerritse van TNO, die zich afvroeg of de biologische activiteit in grondwaterpluimen homogeen verdeeld is of geconcentreerd op enkele plekken. Geen van beide, zo bleek tot zijn verbazing. Want welke meetmethode hij ook inzette, in pluimen met lage organisch stofgehalten bleek helemaal geen sprake van natuurlijke afbraak. De verplaatsing van stoffen is kennelijk grotendeels het gevolg van transport.

Maar of het nu gaat om de lengte van pluimen, stoftransport onder invloed van zoutgradiënten of de afbraak van verontreinigingen door microbiologische activiteit, vrijwel ieder Trias-onderzoek kent een lijntje naar het buitenland. Schotting zat in de trein naar Duitsland, een collega van Loch zocht contact met Belgische kernonderzoekers en Gerritse werkt samen in het EU-project CORONA. En SKB-directeur Harry Vermeulen herinnert zich dat hij ooit de reis- en verblijfskosten betaalde voor een student uit Kazachstan die wilde afstuderen bij Tim Grotenhuis van de WUR. Een investering met een groot rendement, zo blijkt achteraf, want vele jaren later bestaat dat vruchtbare contact nog steeds. Johan van Veen vraagt zich dan ook af of we niet veel meer zouden moeten investeren in het relatiebeheer over de grens. Iedere tweede AIO in het Trias-programma is namelijk afkomstig uit het buitenland, van België tot

Colombia, van Italië tot Polen. 'Duitse universiteiten onderhouden bewust het contact met vertrekkende onderzoekers,' zo weet hij, 'waarom doen we dat in Nederland niet?' Guus Loch is het helemaal met hem eens: 'Katja Heister heeft als Trias-AIO nu een onderzoeksbaan aan de Universiteit van München, voor Nederland is dat een kans om het Europees netwerk uit te bouwen.'

## Commercialiseren

Contacten onderhouden met vetrekende bodemonderzoekers is beslist nodig, daar is iedereen het over eens, maar waarom niet proberen de onderzoekers als ondernemers aan Nederland te binden? Zo verwacht Timo Heimovaara van Groundwater Technology veel van het commercialiseren van één van de Trias-juweeltjes, de drukopnemers die simultaan de water- en oliedruk kunnen meten in een verontreinigingspluim. Als aannemer zou hij tijdens een bodemsanering dolgraag over die technologie beschikken. Maar ook de benzeenafbraak met chlooraat is een geweldig juweel, aldus Heimovaara. 'Welke AIO ontwikkelt dit door?', zo vraagt hij zich dan ook hardop af. Een terechte vraag, zo zou je denken, want in de Verenigde Staten lukt het toch ook om onderzoekers hun eigen uitvindingen te laten commercialiseren, met hulp van oud-ondernemers? En worden universiteiten aan de andere kant van de Atlantische oceaan niet afgerekend op het aantal *spin-offs*, in plaats van op het aantal studenten, zoals hier? Maar al gauw zijn de aanwezige onderzoekers het er over eens dat Nederlandse universiteiten op het gebied van ondernemerschap ver achterlopen op hun Amerikaanse collega's. Alléén krijgen de universiteiten dat hier niet voor elkaar, zo klinkt het eensluidend, daarvoor is het cultuurverschil te groot. Maar wat als die onderzoekers gaan samenwerken met ingenieurs, aannemers en eindgebruikers?, vraagt Harry Vermeulen, nadat hij

met enkele strepen en pijlen een kennisketen op het whiteboard heeft getekend. Samen overzien die partijen het proces om resultaten van wetenschappelijk onderzoek door te ontwikkelen naar een oplossing, zo luidt zijn redenatie, en dus moeten we ervoor zorgen dat de schakels in de keten gaan samenwerken: 'We moeten nu ook investeren in structuren, niet alleen in onderzoek.'

## Breedplaats

Johan van Veen nuanceert een door Vermeulen getekende lineaire kennisketen. Kennis kun je volgens hem niet doorgeven van de ene schakel

naar de andere, als een pakketje met een strik eromheen. Uit eigen ervaring weet Van Veen dat kennisuitwisseling vaak chaotisch verloopt, in netwerken. Zo fungeerde het congres BodemDiep als broedplaats voor projectideeën en vond kennisuitwisseling tussen wetenschap en praktijk plaats in de Trias-begeleidingscommissies en speciale workshops. Het is dus zaak, zo lijkt hij te concluderen, dat er voldoende ontmoetingen worden georganiseerd voor mensen uit wetenschap, praktijk en beleid. Frank Volkering van Tauw bevestigt als praktijkman de waarde van dergelijke makel- en schakelmomenten:

'Bedrijven met een innovatieve cultuur kunnen onderzoeksresultaten op die manier snel naar de praktijk brengen. Tegelijk worden de waarheden uit onze adviespraktijk door onderzoekers ter discussie gesteld. Menig AIO zaagde al eens een poot onder onze stoel vandaan.' Maar hij waarschuwt voor al teveel nadruk op netwerken en structuren ten koste van het onderzoek zélf, want geen enkele motor kan draaien zonder benzine: 'Zonder Speerpuntprogramma Bodem-onderzoek was BodemBreed nooit een succes geworden, zonder Trias zal BodemDiep niet blijven bestaan.' Henk Leenaers

## Gezonde afstand



Twintig personen evalueerden de bruikbaarheid van het Trias-onderzoek

Op 13 oktober 2005 evalueerde SKB het Trias-programma. Twintig personen vroegen zich een middag lang af wat vier jaar fundamenteel/strategisch bodemonderzoek heeft opgeleverd voor de praktijk. De aanwezigen waren betrokkenen bij het Trias-programma, zoals de programmabegeleider, en uitvoerders en gebruikers van het Trias-onderzoek - al met al voldoende mensen met gezonde afstand tot Trias om kritische vragen te kunnen stellen. Nadat Johan van Veen en Han de Wit namens SKB de middag hadden geopend, ging het gezelschap in twee groepen uiteen om te discussiëren over vragen als: 'Hebben de Trias-projecten antwoord gegeven op de gestelde vragen?', 'Welke onverwachte resultaten heeft Trias opgeleverd?', 'Heeft Trias als vraaggestuurd programma succes gehad?' en 'Heeft Trias de kennisinfrastructuur op duurzame wijze versterkt?'. Deze evaluatie was niet alleen leerzaam voor het SKB programmamanagement, maar wordt ook gebruikt bij de inrichting van een eventueel vervolg van Trias. Tijdens een aparte sessie van het jaarlijkse symposium BodemBreed in Lunteren wordt de evaluatie voortgezet. Dan krijgen mensen uit de praktijk volop de kans om te reflecteren op de bruikbaarheid van de Trias-onderzoeksresultaten. In een separaat proces neemt NWO de evaluatie van de wetenschappelijke kwaliteit van het Trias-onderzoek voor zijn rekening.

## Conclusies uit de praktijkevaluatie

1. Op hoofdlijnen heeft het Trias-programma antwoord gegeven op de vooraf gestelde vragen. Op het niveau

van een individueel onderzoeksproject is er - een enkele uitzondering daargelaten, zoals de afbraak van benzeen met chlooraat - meestal sprake van 'het begin van een antwoord'. Het onderzoek levert nog geen voor de praktijk hanteerbare oplossingen, maar resulteerde wel in meer inzicht.

2. Onderzoekers en begeleiders zijn creatief omgegaan met de vele onverwachte ontwikkelingen, zowel de tegenvallers (anders dan voorzien bleek op de gekozen onderzoekslocaties geen macrofauna aanwezig in het grondwater, daardoor moest het onderzoeksplan ingrijpend worden bijgesteld) als de meevallers (osmotisch transport bleek geen tweede orde effect, maar onder bepaalde omstandigheden dominant op de lange termijn en daarmee bijzonder relevant voor ondergrondse opslag).

3. De in potentie bruikbare onderzoeksresultaten en onverwachte 'juweeltjes' vragen om gecoördineerde vervolgcacties, gericht op het verder verdiepen en naar de praktijk brengen van de resultaten. Medewerking is daarbij nodig van alle schakels uit de kennisketen: universiteiten, kennisinstellingen, ingenieursbureaus én eindgebruikers.

4. Trias heeft een belangrijke bijdrage geleverd aan de versterking van de bodemkennisinfrastructuur door onderzoekers te koppelen aan begeleiders uit de praktijk en door het leggen en onderhouden van internationale verbindingen, zowel in een makel- en schakelrol als in de rol van organisator van het congres Soil & Water, ook bekend als BodemDiep.

# Twaalf keer Trias

**Twaalf onderzoeken vormen samen het fundamenteel/strategische onderzoeksprogramma van Trias. Op deze en de volgende pagina 's vindt u een korte beschrijving van het onderzoek en de contactgegevens van de onderzoekers. Meer informatie over alle projecten is te vinden op [www.nwo.nl/trias](http://www.nwo.nl/trias).**

## 1. Dringen onder de grond

De verdringing van water door zware olieachtige producten in de grondwaterzone verloopt anders, dan wanneer, omgekeerd, de olieachtige stoffen worden verdrongen door water. Dit proces met de naam hysteresis is het gevolg van de aanwezigheid van fijne en grove poriën en de afwisseling van fijn en grof zand, kortom van de natuurlijke heterogeniteit van de bodem. Voor de voorspelling en modellering van stroming en afbraak van verontreinigingen in de bodem is dit een lastige eigenschap, aangezien het ondoenlijk is om dit gedrag op ieder punt en in iedere porie te voorspellen en vervolgens te combineren. Om hiervoor een oplossing te vinden, wordt in dit onderzoek nagegaan door middel van modellering en experimenten, o.a. met de Geocentrifuge van GeoDelft, hoe groot voor verschillende mengsels van grof en fijn zand de zogenaamde 'eenheids-cel' - het minimale volume - moet zijn om het gedrag van het systeem zo goed mogelijk te voorspellen.

*Project: 835.80.001, Upscaling micro-heterogeneïteits in two-phase flow in porous media: Theory and experiments. Projectleider: Prof. S.M. Hassanizadeh, UU - Faculteit Geowetenschappen. Looptijd: 2000 - 2004. Informatie: [hassanizadeh@geo.uu.nl](mailto:hassanizadeh@geo.uu.nl).*

## 2. Stroming en afbraak in DNAPL-pluimen

Vooraf in de rand van een verontreinigingspluim treedt door natuurlijke processen afbraak van op van niet met water mengbare olieachtige stoffen zoals als tri en per. De stroming van deze stoffen, maar ook die van het grondwater, beïnvloeden de afbraak en de verplaatsing van de pluim. Dit onderzoek richt zich op de

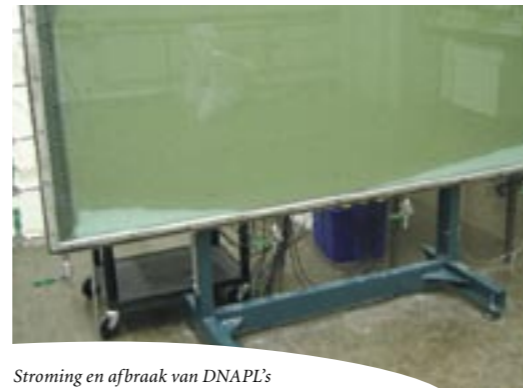
modellering van deze processen door combinatie, uitbreiding en toetsing van bestaande modellen voor stroming en natuurlijke afbraak. De toetsing vindt plaats met behulp van kolomexperimenten en met een experimentele opstelling in de vorm van een 'sand-box', waarin het stromingsgedrag en de afbraak van één DNAPL, te weten TCE, kunnen worden gevolgd en gemeten.

*Project 835.80.002, Multiphase flow and enhanced biodegradation of dense non-aqueous phase liquids. Projectleider: Prof. S.M. Hassanizadeh, UU - Faculteit Geowetenschappen. Looptijd: 2000 - 2008. Informatie: [hassanizadeh@geo.uu.nl](mailto:hassanizadeh@geo.uu.nl).*

## 3. Verstrooiingsmodel getoetst

De modellering van dispersie - oftewel verstrooiing - in relatie tot stroming staat in dit onderzoek centraal. Een pluim van verontreinigende stoffen verplaatst zich in de ondergrond door stroming en dispersie in de randzone. Dispersie treedt op zowel in de lengterichting als dwars op de richting van de stroming. Dispersie leidt tot verdunning van de verontreiniging, waardoor natuurlijke afbraak wordt vergemakkelijkt en de pluim wellicht ook eerder dan gedacht tot stilstand komt. Het model wordt getoetst aan de uitkomsten van experimenteel onderzoek naar de stroming, reactie en dispersie van anorganische stoffen in een 'sandbox' van de Universiteit van Göttingen en aan die van een olieverontreiniging in de omgeving van Perth (Australië).

*Project 835.80.005, Mixing processes in enhanced and natural attenuation. Projectleider: Dr. R.J. Schotting, UU - Faculteit Geowetenschappen. Looptijd: 2001 - 2005. Informatie: [schotting@geo.uu.nl](mailto:schotting@geo.uu.nl).*



*Stroming en afbraak van DNAPL's in een 'sandbox'*

## 4. Concurrentie voor vuilvretertjes

In zuurstofloos grondwater is de afbraak van organische verontreinigingen door micro-organismen vaak gekoppeld aan de reductie van ijzerverbindingen. De samenstelling en kristalvorm van de aanwezige ijzerverbindingen zijn bepalend voor de energie die dit proces voor de betrokken micro-organismen oplevert en het succes van de afbraak. Hierbij ondervinden deze vuilvretertjes concurrentie van andere micro-organismen, die dezelfde voor hun groei benodigde stoffen gebruiken. In dit onderzoek is experimenteel nagegaan wat de groei en overleving is van enkele model-organismen onder verschillende redox-omstandigheden en met verschillende ijzerverbindingen en is de te behalen energiewinst voor de verschillende omstandigheden bepaald. Tegelijkertijd is nagegaan welke groepen micro-organismen een rol spelen bij de afbraak van verontreinigingen onder ijzerreducerende omstandigheden in de pluim van de vuilstort Banisveld bij Bostel door bemonstering, isolatie en kweek. Het geheel van gegevens wordt gebruikt voor de invulling van een model, de zogenaamde Ecologische Controle Analyse, met de bedoeling te bepalen welke soorten of factoren de afbraak in hoofdzaak controleren, teneinde deze beter te kunnen voorspellen en sturen.

*Project 835.80.004, Redox reactivity and bioavailability of ironoxyhydroxides in the subsurface. Projectleiders: Prof. Dr. P. Van Cappellen, UU - Faculteit Geowetenschappen en Prof. H.V. Westerhoff en Dr. W.F.M. Röling,*

*VU - Faculteit Aard- en Levenswetenschappen. Looptijd: 2001 - 2005. Informatie: [pvc@geo.uu.nl](mailto:pvc@geo.uu.nl) of [wilfred.roling@falw.vu.nl](mailto:wilfred.roling@falw.vu.nl).*

## 5. Afbraak door eencelligen

Organische verontreinigingen in de ondergrond leiden tot verstoring van het aanwezige grondwaterecosysteem, maar in de regel tevens tot natuurlijke afbraak van de stoffen op korte of langere termijn. In het onderzoek is onder andere gekeken naar de structuur van het voedselweb en de rol van protozoën - eencellige organismen - in het afbraaksysteem, waarbij geldt dat protozoën zich vrij bewegen in het grondwater en leven van micro-organismen. De gegevens zullen worden ingevoerd en doorgekeerd met de eerder genoemde Ecologische Controle Analyse (ECA; zie project 835.80.004). Voorts is in het kader van dit onderzoek in het laboratorium de anaërobe afbraak en afbraakroute van BTEX in monsters, afkomstig uit de pluim van de vuilstort Banisveld bij Bostel nagegaan, o.a. door gebruikmaking 13C-gelabelde verbindingen. Onder deze omstandigheden is de afbraak van benzeen, toluen, en m-xyleen waargenomen, soms na een zeer lange lag-phase.

*Projectnummer 835.80.007, Resilience of the groundwater ecosystem in reaction to anthropogenic disturbances. Projectleiders: Dr. W.F.M. Röling, Prof. H.V. Westerhoff en Prof. N.M. van Straalen, VU - Faculteit Aard- en levenswetenschappen, Dr. H. Smidt, WUR - Laboratorium voor Microbiologie en Dr. J.R. Parsons, UvA - IBED Departement Environmental Toxicology and Chemistry. Looptijd: 2002 - 2005. Informatie: [wilfred.roling@falw.vu.nl](mailto:wilfred.roling@falw.vu.nl) en op [www.bio.vu.nl/geomicrob/TRIAS/index.html](http://www.bio.vu.nl/geomicrob/TRIAS/index.html).*

## 6. Familiestamboom van benzeenafbrekers

Een consortium van vier of vijf micro-organismen blijkt in staat om in aanwezigheid van chlooraat en onder anaërobe omstandigheden benzeen af te breken, doordat uit het chlooraat een kleine hoeveelheid zuurstof wordt vrij gemaakt. Het verkrijgen

en beschrijven van de organismen afzonderlijk is niet mogelijk gebleken, wel is langs moleculair biologische weg een aantal fylogenetische eigenschappen vastgesteld - een soort familiestamboom - en zijn de fysiologische condities van het consortium bepaald, die de afbraak mogelijk maken.

*Project 835.80.009, Anaerobic biodegradation in contaminated soils. Projectleiders: Prof. A.J.M. Stams, WUR - Laboratorium voor Microbiologie en Dr. A.A.M. Langenhoff, TNO. Looptijd: 2002 - 2004. Informatie: [fons.stams@wur.nl](mailto:fons.stams@wur.nl) en [alette.langenhoff@tno.nl](mailto:alette.langenhoff@tno.nl).*

## 7. Benedenstrooms van het bioscherm

Het onderzoek richt zich op de ruimtelijke verdeling van chloorkoolwaterstoffen en afbraak door micro-organismen in een verontreinigingspluim, in relatie tot de geochemische condities en de structuur van de bodem. Bodem- en grondwatermonsters zijn verzameld met 'hoge resolutie peilbuizen' in en buiten de verontreinigingspluim, en zowel bovenstrooms als benedenstrooms van een actief bioscherm in de stroombaan van de pluim. In batchexperimenten zijn de aërobe en anaërobe afbraak van chloorkoolwaterstoffen aangetoond. De afbraakcapaciteit blijkt sterk te variëren van plaats tot plaats en van diepte tot diepte, en soms zelfs geheel afwezig te zijn. De grootste capaciteit is aangetoond in en rond het geplaatste bioscherm. Het onderzoek suggereert dat de in het bioscherm ontwikkelde micro-organismen zich stroomafwaarts in de pluim kunnen verspreiden waardoor de actieve zone in het verontreinigde grondwatersysteem wordt uitgebreid.

*Project 835.80.121, CORONA: Confidence in forecasting of natural attenuation. Projectleider: Dr. J. Gerritse, TNO - Bouw en Ondergrond. Looptijd: 2003 - 2004. Informatie: [jan.gerritse@tno.nl](mailto:jan.gerritse@tno.nl).*

## 8. Ongewild stoftransport

Als gevolg van verschillen in zoutsterkte aan weerszijden van

een dichte kleilaag, bijvoorbeeld de afdichting van een slibdepot, kunnen ongewild water- en stoftransport gaan optreden door de kleilaag onder invloed van opgewekte chemische en elektrische potentiaalverschillen. Daardoor kan het depot gaan lekken. In dit onderzoek is experimenteel onderzoek gedaan: in het laboratorium met dunne kleiplakken in een zogeheten 'permeameter' en in het veld in ondiepe kleilagen en in zeer diepe, compacte kleipakketten ('Boomse klei') met behulp van piëzometers. Tevens is door bewerking van bestaande gegevens uit de literatuur nagegaan of door deze mechanismen inderdaad verontreinigingen uit een slibdepot zouden kunnen weglekken.

*Project 835.80.003, Chemically and electrically coupled transport in clayey soils and sediments. Projectleiders: Dr. J.P.G. Loch en Dr. R.J. Schotting, UU - Faculteit Geowetenschappen en Dr. H. Kooi, VU - Faculteit Aardwetenschappen. Looptijd: 2001 - 2005. Informatie: [jpgl@geo.uu.nl](mailto:jpgl@geo.uu.nl).*



*Meting van stoftransport door een kleilaag*

## 9. Ondergronds ijzerfilter

Arsen in drinkwater is een bedreiging voor de volksgezondheid, bijvoorbeeld in een ontwikkelingsland als Bangladesh. Een mogelijke oplossing is om arsen ondergronds al zoveel mogelijk weg te vangen met een ijzerfilter, dat door periodieke zuurstofinjectie kan worden gevormd en ververst rond een drinkwaterput. Het project omvat experimenteel chemisch onderzoek en modellering van het bindingsgedrag van arsen aan ijzeroxide bij verschillende zuurstoftoestanden en in aanwezigheid van andere stoffen, o.a. fosfaat en bicarbonaat, zoals die zich in de praktijk voordoen. In combinatie hiermee wordt in een cel experimenten-