

Vitale bodem als basis voor een duurzaam bodembeheer

Een opiniërend overzicht van de bodemproblematiek in Nederland en de wijze waarop dit kan worden aangepakt, met een toetsing aan de Zuid-Afrikaanse situatie

HERMAN EIJSACKERS^{1,2,3}, MARK MABOETA⁴ & PETER DOELMAN⁵

1. Wageningen Universiteit en Research Centrum, postbus 9101, 6700 HB Wageningen, Nederland, (Herman.Eijsackers@wur.nl)
2. Instituut Ecologische Wetenschappen Vrije Universiteit Amsterdam
3. Departement Soologie Universiteit Stellenbosch
4. School voor Milieuwetenschappen & Ontwikkeling Noordwes-Universiteit, Privaat sak X6001 Potchefstroom 2520, (DRKMSM@puknet.puk.ac.za)
5. Doelman Advies, August Faliseweg 10, 6703 AS Wageningen, Nederland (P.Doelman@chello.nl).

UITTREKSEL

De afgelopen decennia is de bodem, zowel in Zuid-Afrika als Nederland, steeds sterker aangetast, zowel door chemische als fysische factoren. Verontreiniging, verzuring, verdroging, erosie eisen over steeds grotere landoppervlakken hun tol. Daardoor functioneren bodemfuncties (plantaardige productie, waterzuivering, draagvlak bovengrondse natuur inclusief voedselketens) niet of beperkt. Het besef dat de bodem een levend systeem is, waarin bodemorganismen een essentiële rol spelen, zal de grondslag moeten vormen van bodembeleid en bodembeheer. Dit opiniërend artikel is daar een pleidooi voor. Het beschrijft de aantasting van de bodem, wat een vitale bodem is, welke processen bedreigd worden met de factoren die daarbij een sleutelrol spelen, te weten: bodemstructuur, buffercapaciteit, organische stofgehalte en verscheidenheid aan bodemorganismen. Ook geeft het aan hoe de vitale toestand van de bodem gemonitord kan worden.

ABSTRACT

Vital soil as basis for sustainable soil management, a survey of soil problems in The Netherlands and the way to tackle it, with an assessment for the South African situation

In the past decades, soils in South Africa as well as The Netherlands have become increasingly deteriorated as a result of chemical and physical factors. Soil contamination, acidification, desiccation and erosion have caused negative impacts on land surfaces which are still on the increase. Soil functions like primary plant production, natural soil water clean up, basis and substrate for the above ground biodiversity and food chains, have become completely or partially impaired. The awareness, that soil is a vital and living system has to become the basis of soil policy and soil management. This paper is a plea for such an approach. It describes the various threats, what a vital soil is and which factors play a key role in this vital system: soil structure, buffer capacity, organic matter content, and the variety of soil organisms. It also indicates how the vitality of the soil should be monitored.

1. DOOR WELKE FACTOREN EN PROCESSEN WORDT DE BODEM BEDREIGD?

De bodem, de buitenste leeflaag van de wereldbol, wordt op vele manieren bedreigd zowel in Nederland als Zuid-Afrika. De bodem wordt op vele, verschillende manieren gebruikt: voor landbouw, drinkwatervoorziening, ten behoeve van natuurlijke afbraak van stoffen. Zodoende ontstond de afgelopen 35 jaar in het Nederlandse beleid het besef dat de bodem als systeem met

vele essentiële processen, als levend systeem, een waarde op zichzelf is, die beschermd moet worden.

Bodembescherming kent nog slechts een korte geschiedenis. In tegenstelling tot water- en luchtverontreiniging, met een historie die teruggaat tot 1600-1700, dateert bodemverontreiniging en de daarvan afgeleide wettelijke bodembeschermingactiviteiten uit de zeventiger jaren van de vorige eeuw. Wetten over de bodem in verschillende landen dateren soms al van eerder (tabel 1, ontleend aan Eijsackers, 2004),¹ maar deze hebben meestal een algemene beschermingsfunctie.

TABEL 1: Historische mijlpalen voor het Europese bodembeschermingsbeleid

Raad van Europa	1972	Europees Bodem Handvest
Denemarken	1990	Wet op Afvalstort (herziening oudere Wet)
	1992	Milieubeschermingswet (actualisering)
Duitsland	1985	Federale Bodembeschermingswet
	1989	Inventarisatie Verontreinigde Bodems
Noorwegen	1955	Bodemwet (algemene bodembescherming)
	1988	Actieplan Verontreinigde Locaties
Nederland	1971	Ontwerp-wet Bodembescherming
	1983	Richtlijnen voor Bodemsanering
	1987	Bodembeschermingswet
Engeland	1971	Stad en Platteland Planningswet
	1974	Wet ter beheersing van verontreiniging
	1988	Milieuplanningswet

In Nederland begon de discussie over bodembescherming toen in het plaatsje Lekkerkerk in 1980 werd geconstateerd dat in een woonwijk grond en grondwater verontreinigd was met organische verbindingen. Dit voorval was aanleiding om ook elders in Nederland naar gevallen van bodemverontreiniging te kijken, met als resultaat een lijst van inmiddels 600.000 locaties. Momenteel is men daar, ruim 25 jaar later, nog mee bezig, met 2015 als nieuw einddoel.

In andere westerse landen deed men soortgelijke ontdekkingen: gigantische afvaldepots in de Verenigde Staten, voormalige chemische fabrieksterreinen en met kolen gestookte elektriciteitscentrales in Duitsland en grote gebieden met mijnafval in Engeland. Als consequentie ontwikkelde zich in de westerse wereld een beleid gericht op lokale verontreinigingen en hun invloed op de menselijke gezondheid. Een gezonde, vitale bodem speelde eigenlijk geen rol. Het ging primair om de rol van de bodem als transportmedium: vanuit de vervuilingbron naar het grondwater en vervolgens naar drinkwater, of via de bodemlucht en verdamping naar de ruimten onder huizen. Natuurlijk werd ook gekeken naar de afbraak van stoffen, naar effecten op het leven in de bodem of naar mogelijkheden tot doorvergiftiging in voedselketens, maar die effecten hadden in de praktijk van het toenmalige beleid nauwelijks betekenis (zie Souren 2006).²

Er waren echter wel degelijk gevallen waar duidelijk sprake was van negatieve effecten op het bodemleven en doorvergiftiging in voedselketens. Die effecten hadden te maken met diffuse verontreiniging van de bodem met persistente stoffen, vooral zware metalen. Voorbeelden zijn de omgeving van een voormalige zinksmelterij in het zuiden van het land, de uiterwaarden van de grote rivieren (Rijn, Maas, Waal en IJssel) en de estuaria bij de Zuid-Hollandse en Zeeuwse kust (in het bijzonder de Biesbosch) waar verontreinigd slib van bovenstrooms (het Duitse Ruhrgebied) was gesedimenteerd. Ook werden producten van verbrandingsprocessen als Polycyclische Aromatische Koolwaterstoffen (PAK's) en in mindere mate polychloorbiphenylen (PCB's) in de bodems van vele grote en kleine waterlopen in Nederland aangetroffen (Beurskens 1993).³

Al deze waarnemingen en beleidsactiviteiten doen beseffen dat de bodem op vele manieren wordt bedreigd. Vragen die dan opkomen zijn: wat is een vitale bodem, waardoor wordt die vitaliteit bedreigd, wat kan daar aan gedaan worden, en hoe kunnen de bedreigingen en hun effecten en de effectiviteit van het beheer gemeten worden. Deze vragen vormden de basis voor het boek "Vitale Bodem" (Doelman & Eijsackers 2004),⁴ dat als boodschap heeft dat de bodem een levend systeem is dat bedreigd wordt, maar ook volop oplossingsmogelijkheden in zich bergt. Als mensheid moeten we zuinig zijn op onze bodems, en deze niet als iets vanzelfsprekends gebruiken en behandelen. Deze vier hierboven genoemde vragen worden in dit opiniërende artikel besproken, primair vanuit de West Europese (Nederlandse) situatie, met aan het eind een doorkijk naar de situatie in Zuid Afrika. Recente bezoeken aan Zuid-Afrika maakten ons (HE/PD) duidelijk, dat de problematiek in essentie vergelijkbaar is, maar in uitwerking aanzienlijk anders, zowel wat betreft beleid, problemen, als onderzoekkennis. Daarom sluiten wij dit artikel af met een, korte, agenderende omschrijving hoe de bodemsituatie aan te pakken.

2. WAT IS EEN VITALE BODEM?

Mensen bedrijven al vele eeuwen bodembeheer en bodemkunde. Daardoor worden een aantal eigenschappen, processen en karakteristieken van de bodem als vanzelfsprekend aangenomen. Een dergelijke houding leidt tot veronachtzaming van wezenlijke waarden: niet voor niets gebruikte de Scientific American voor een artikel over de bodem als titel: "Are we treating our soils like dirt?"

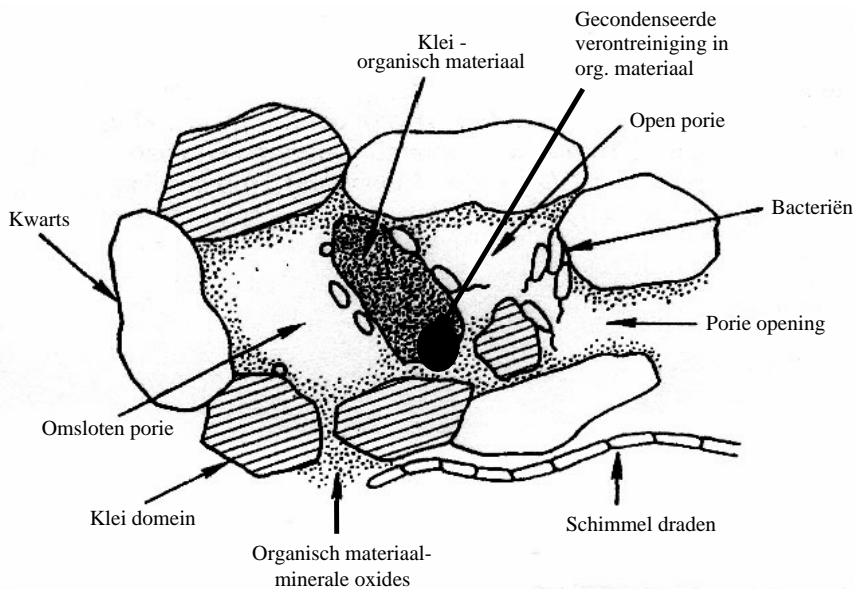
Bodem wordt hier omschreven als: "Een samenstel van levende en niet-levende bestanddelen en processen, met zeer complexe interacties, een grote mate van ruimtelijke heterogeniteit en aanzienlijke verschillen in de tijd". Om bodems duurzaam te kunnen blijven gebruiken zal die dynamiek, die 'vitaliteit', beheerd en beschermd moeten worden. **Vitaliteit** is: het vermogen van de bodem om over een lange termijn te kunnen blijven functioneren als samengesteld systeem door een verscheidenheid aan processen en organismen die deze processen uitvoeren. **Bodemkunde** onderzoekt en beschrijft bovengenoemde bestanddelen, de laagsgewijze opbouw van dit systeem, de fysische, chemische en biologische eigenschappen van deze opbouw en de fysische, chemische en biologische processen die zich daarin afspelen. **Bodembeschermingbeleid** is er op gericht de bodem in staat te stellen over lange termijn te blijven functioneren – het begrip duurzaamheid wordt daartoe veel gebruikt – door middel van een gestructureerd systeem en een divers bodemleven.

Eigenschappen van de bodem die duurzaam beschermd moeten worden, betreffen biologische, chemische en fysische karakteristieken:

- Fysische eigenschappen hebben te maken met de structuur van de bodem en de verschillende stromingsprocessen.
- Chemische eigenschappen betreffen de verweringsmechanismen van moedergesteente, de afbraak processen van organisch materiaal en organische verbindingen, en de sorptieprocessen van verbindingen aan verschillende bodembestanddelen.
- Biologische eigenschappen omvatten de verschillende biologische processen, en de verscheidenheid (diversiteit) aan organismen die deze processen mogelijk maken.

In de Europese Bodem Strategie, waarvan de invoering momenteel in de laatste fase van voorbereiding is (EC 2002)⁵ worden als belangrijkste aspecten van behoud en bescherming van de bodem genoemd: Afdichting, Erosie, Organische stof, en Biodiversiteit. Het belang van deze vier aspecten en de hiervoor genoemde fysische, chemische en biologische factoren zal hierna uitvoeriger worden beschreven.

De bodemstructuur en de aantasting ervan. De bodemstructuur omvat de ruimtelijke rangschikking van de verschillende bodembestanddelen. Dit betreft een structuur op micro-, meso- en macroniveau. Op micro- en mesoniveau gaat het om de vorm van verschillende minerale deeltjes en kleideeltjes, de verhouding tussen deeltjes:lucht:water en de verdeling van de met lucht en water gevulde poriën in de grond. Naast minerale deeltjes speelt organische stof een belangrijke rol bij de vorming en het behoud van de structuur en textuur van de bodem (figuur 1).



Figuur 1: *Relaties tussen organismen, organische stof en minerale deeltjes op microschaal (aangepast naar Paul en Clark, 1989⁶ en Cuypers, 2001).⁷*

Daarnaast spelen op mesoniveau bodemorganismen een essentiële rol. Ze produceren stoffen die de minerale en organische deeltjes aan elkaar kitten waardoor een duurzamer geheel ontstaat. Ze mengen door hun graafactiviteiten (bioturbatie) de bodemdeeltjes en maken gangen in de grond, waardoor lucht de grond kan indringen en overtollig regenwater naar beneden kan stromen. Regenwormen, maar ook mestkevers en termieten, staan bekend als bioturbatoren en kunnen een grote invloed op de bodemstructuur hebben. Op macroniveau onderkennen wij een laagsgewijze opbouw van de bodem, het bodemprofiel, met verschillende lagen van een onderling afwijkende samenstelling en eigenschappen. Afhankelijk van minerale samenstelling van de bodem en klimaatcondities kunnen zich verschillende typen bodemprofielen vormen.

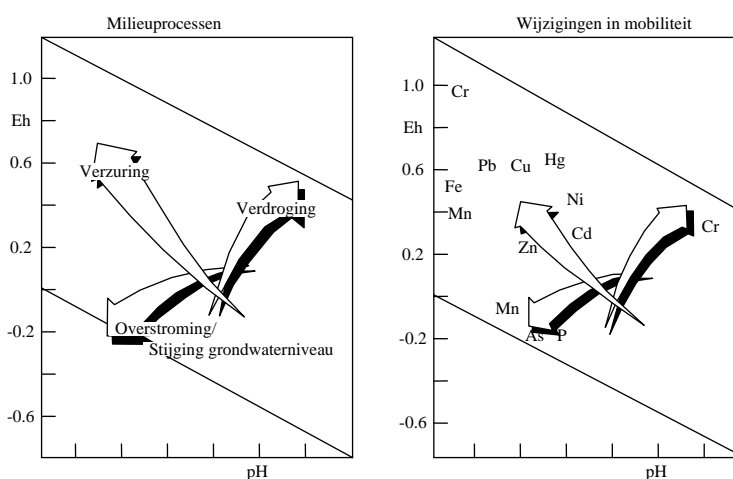
Aantasting van die structuur kan plaatsvinden door uitspoeling van water en wind (via water- en winderosie), of door samendrukking en oppervlakkige afsluiting (compactie en sealing). Samendrukking of compactie wordt al lang onderzocht. Voor bouwactiviteiten (gebouwen, wegen, dijken) is compactie een nuttige factor aangezien het de draagkracht bevordert en bij dijken de doorlaatbaarheid vermindert. In de landbouw wordt compactie als een nadelige factor ervaren, doordat het leidt tot een verminderde beluchting van de bodem en daardoor tot ongunstige zuurstofloze (anaërobe) omstandigheden.

Afdichting is een relatief nieuw begrip, en houdt verband met bouwactiviteiten waardoor het bodemoppervlak in steden, van industrieterreinen, en wegen wordt bedekt met stenen, beton of asfalt. Gevolg is dat in de bodem daaronder gaandeweg de biologische activiteiten tot een minimum dalen doordat de aanwezige zuurstof wordt opgebruikt. Onder minimaal zuurstofloze omstandigheden gaan veel

organismen dood of geraken in een rusttoestand. Verder kan het regenwater niet meer de bodem indringen. In plaats daarvan zal het over het oppervlak afstromen en zich op bepaalde plaatsen concentreren. Die lokaal geconcentreerde afvoer kan met rioleringsystemen, of met een netwerk van sloten (zoals in Nederland) worden beheerd. Recente gevallen van langdurige, zware neerslag in Nederland laten echter zien dat de verwerkingscapaciteit dan toch onvoldoende is en er overstroming optreedt. In andere gevallen zal de lokaal geconcentreerde afstroming tot bodemerrosie leiden.

Bodemerrosie is op tal van plaatsen in de wereld een wezenlijk en ernstig bedreigend probleem. Bij een inventarisatie van de verschillende bodembedreigende factoren in Europese bodems in 1980 (Glasod-studie, ISRIC/FAO 1980, zie Oldeman et al. 1990)⁸ bleek watererosie op 52% (114 miljoen hectares) op te treden, winderosie op 19%, andere fysische degradatieprocessen op 19% en chemische degradatie op 12% van het totale geïnventariseerde oppervlak (zie verder paragraaf 7). Fysische factoren bedreigen volgens deze studie de bodem dus in veel sterkere mate dan chemische verontreinigingsfactoren.

De buffercapaciteit, in relatie met de milieuomstandigheden. Veel chemische factoren en processen in de bodem worden beïnvloed door de pH. Buffering van de pH is afhankelijk van het bodemtype. Er is een langzaam verwerkingssysteem van het moedergesteente, dat in principe eindeloos doorgaat. Daarnaast is er in kalkrijke gronden een snel reagerend systeem via het oplossen van kalk, in redelijk gebufferde gronden een systeem waarbij H^+ en Al^{3+} worden uitgewisseld met basen aan het adsorptiecomplex en in zure zandgronden - die het meest gevoelig zijn voor verzuring - rest een langzamer Aluminium-buffer. Door zure regen verzuurt de grond, en de vraag is dan hoe duurzaam deze buffersystemen zijn. Zo is door de Vries et al. (1993)⁹ berekend dat in van nature zure zandgronden in Nederland in 2050 ca. 30% van de Aluminium-voorraad in de bovenste 30 cm zal zijn uitgeput. In de bovenste 10 cm, waar zich het merendeel van het bodemleven bevindt, zal deze uitputting aanzienlijk hoger zijn (de Vries mond. med.). Een tweede belangrijke factor is de redox-verhouding (Eh) die afhankelijk is van de hoeveelheid zuurstof in de bodem. Onder waterverzadigde situaties (zoals de bodem van een meer of rivier, moerassen en laag gelegen graslanden met een hoge grondwaterstand) is de bodem zuurstofarm. Ook na een massieve regenbui kunnen bodems tijdelijk volledig zuurstofloos worden. Onder zuurstofarme/loze condities worden bepaalde chemische omzettingssystemen mogelijk of juist onmogelijk gemaakt. Deze zijn van invloed op de beweeglijkheid van onder andere zware metalen (figuur 2). Daarbij is er ook een interactie tussen redoxverhouding en pH.



Figuur 2: Relatie tussen milieuprocessen en de zuurgraad (pH) en Redox (Eh) van de bodem (links), en de consequenties daarvan voor een toenemende mobiliteit van een aantal zware metalen en verwante elementen (rechts) (aangepast naar Salomons & Stigliani 1995).¹⁰

Het organische stofgehalte. Organische stof is de bindende factor in de bodem en zorgt voor onderlinge hechting van bodemdeeltjes. Organisch stof levert, via natuurlijke afbraakprocessen van organisch materiaal, de voedingsstoffen die door planten als kationen en anionen worden opgenomen. Bodemdieren en bodemmicro-organismen spelen een essentiële rol bij deze afbraakprocessen. Bodemdieren zorgen voor de eerste verkleining van het blad en voor de vermenging met micro-organismen in hun darmen. De micro-organismen zorgen voor de uiteindelijke afbraak tot plantenvoedingsstoffen. Mensen hebben van die afbraak van organische stof sinds het begin van hun landbouwactiviteiten gebruik gemaakt. Zij brachten de grond 'in cultuur' door de natuurlijke laagsgewijze opbouw open te scheuren (ploegen) waardoor dieper liggende lagen van organisch materiaal (humus) bloot kwamen te liggen en afgebroken konden worden (mineralisatie). Zodoende is over enorme gebieden van de aarde (de steppen en graslanden van Noord-Amerika en Canada, van Australië en van Zuid-Afrika) op zeer productieve wijze landbouw bedreven. De vraag in relatie tot een duurzaam bodembeheer is hoe lang die voorraad aan organische stof nog zal reiken. Hiertoe moet de hoeveelheid organische stof (humus) die jaarlijks per hectare wordt afgebroken, worden vergeleken met wat er jaarlijks door planten per hectare wordt gevormd. Van de totale hoeveelheid bladmateriaal die op de bodem valt, draagt maar een beperkt deel uiteindelijk bij aan de organische stofvoorraad. In tabel 2 is dat via een rechtlijnig verband berekend. Maar tijdens het mineralisatieproces komen ook al plantenvoedingsstoffen vrij, dus de jaarlijkse bijdrage zal effectief groter zijn. Het verschil tussen toename en afname – in deze berekening minimaal een factor 10 – laat zien hoe snel we op onze voorraden interen. Vervolgens kan vastgesteld worden met hoeveel procent de organische stofvoorraad al is afgenomen in landbouwgebieden, die gedurende verschillende perioden in cultuur zijn, en dit te vergelijken met maagdelijke graslanden en prairies op verschillende plaatsen in de wereld. Er is al fors ingeteerd: in tientallen jaren is de voorraad soms al met vele tientallen procenten afgenomen. Een goed en duurzaam beheer van de organische stofvoorraad is dringend noodzakelijk.

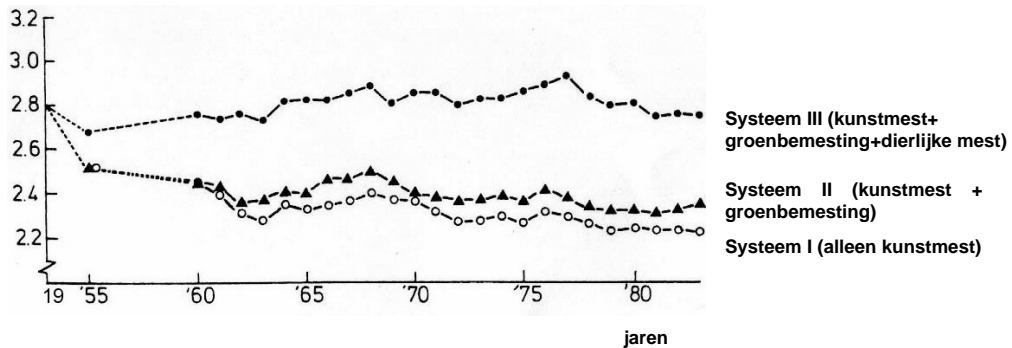
TABEL 2: Winst en verlies van organisch materiaal in de bodem door plantaardige productie en humificatie van strooisel en door bodembewerking (gebaseerd op Eijsackers & Zehnder 1990)¹¹

Humus productie in grasland	
Jaarlijkse netto primaire productie	2,8 ton.ha ⁻¹ .j ⁻¹
0,1 percent is resistent tegen mineralisatie, en draagt bij aan organisch C-gehalte (org. C.)	0,028 ton org. C. ha ⁻¹ .j ⁻¹
Humus verlies	
Prairie bodem 40 jaar na in cultuur brengen:	
Zandige grond 8-16 ton org C.ha ⁻¹	0,2-0,4 ton org C. ha ⁻¹ .j ⁻¹
Lemige/klei grond 10-26 ton org C.ha ⁻¹	0,22-0,65 ton org. C ha ⁻¹ .j ⁻¹
Enige andere voorbeelden van org C verlies (in %) na in cultuur brengen van maagdelijke bodems	
US Zandige prairie grond na 40 j. in cultuur	42-54% verlies
US Lemige/klei grond na 40 j. in cultuur	36-54% verlies
US grasland na 25 j. in cultuur	56% verlies
US maagdelijke bosgrond na 3 j. in cultuur	33% verlies
Canada grassland na 60 j. in cultuur	50-60% verlies
Canada grassland na 60-80 j. in cultuur (laag 0-15 cm)	57% verlies
Canada grassland na 60-80 j. in cultuur (laag 40-80 cm)	20% verlies

In een langjarige proef in Nederland is nagegaan, wat het verlies aan organische stof is bij verschillende beheerssystemen, en hoe dit gecompenseerd kan worden (figuur 3). Bij drie naast elkaar gelegen akkerbouwbedrijven werden gedurende ruim 30 jaar drie regimes aangehouden: I. alleen kunstmest, II. kunstmest aangevuld met groenbemesting, en III. kunstmest aangevuld met ingezaaid, tijdelijk grasland en 13.500 kg.ha⁻¹ dierlijke organische mest. De totale externe

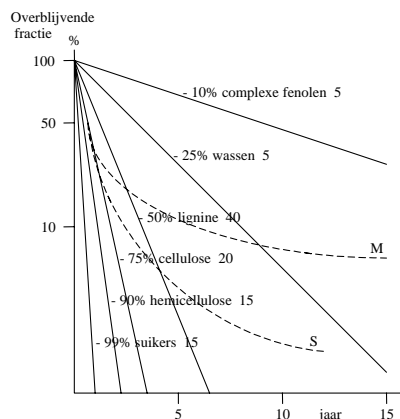
toediening met organisch materiaal was jaarlijks bij I 19.000 kg.ha⁻¹, bij II 34.000 kg.ha⁻¹ en bij III 32.000 kg.ha⁻¹. Alleen bij systeem III bleef het organische stofgehalte op ongeveer hetzelfde niveau, bij de andere twee systemen was ondanks de toedieningen sprake van een geleidelijke achteruitgang. Die kan onder de relatief gunstige, Nederlandse omstandigheden (koel en met ruime neerslag) niettemin na 30 jaar ruim 20% bedroeg.

gehalte organisch materiaal in procenten



Figuur 3: Organiese stofgehalte in drie gewasrotatiesistemen met een verskil in kunststest, groenbemesting en organiese mestgift over die periode 1952-1984 (naar Kooistra, Lebbink & Brussaard 1989).¹²

Om presiezer te weten hoe snel organiese stof afgebroken word, en dan niet meer beskikbaar is voor opname door plante, kan uitgegaan word van die snelheden waarmee die verskillende bestanddele van bladmateriaal afgebroken word. Hiertoe stelde Minderman al in 1968 een figuur op (figuur 4).



Figuur 4: Die afbraakkurwe van verskillende organiese bestanddele van bladstrooisel. Het persentase vóór ieder bestanddeel geeft het persentase afbraak na één jaar, het getal erachter die bijdrae in gewichtsprosenten aan het totaal. S geeft die kumulatiewe teoretiese afbraakkurwe van die verskillende stoffe bij elkaar, M die werkelyk waargenome kurwe (Minderman 1968).¹³

Het is duidelijk dat vooral de gemakkelijk opneembare voedingsstoffen als suikers en hemicellulosen heel snel worden afgebroken. Dit zal zeker het geval zijn onder warmere (sub)tropische omstandigheden. Binnen enkele maanden tot een jaar zijn deze voedingsstoffen geheel afgebroken. Het toedienen van organisch materiaal (composteren) om plantengroei – speciaal in de beginfase - te bevorderen, zoals onder andere bij rehabilitatieprocessen gebeurt, lijkt dan een stimulering van zeer korte adem te zijn. Het verschil tussen de potentiële en daadwerkelijke afbraakcurve laat zien dat in de praktijk vertragende factoren een rol spelen.

De diversiteit van het bodemleven. Verlies van biodiversiteit staat de laatste jaren volop in de belangstelling. Daarbij gaat het veelal om soorten die goed waarneembaar zijn, zoals planten en vogels. Voor het verborgen bodemleven (cryptobiota wordt ook wel als naam gebruikt) is er in dit verband minder belangstelling. Hoe divers het bodemleven is, is dan ook maar voor een beperkt aantal groepen soorten bekend in Nederland (tabel 3), maar zeker ook in Zuid-Afrika.

TABEL 3: Verdeling van de totale bodembiodiversiteit (150.000 soorten) over de verschillende groepen in aantallen soorten (naar de Ruiters 2004A¹⁴, aangevuld met gegevens uit Adie *et al.* 2005)¹⁵

	Totaal	Nederland	Zuid Afrika
Micro-organismen	45.000		
Protozoën	7.000	100	
Nematoden	5.000	1.700	644
Insecten	60.000	17.000	40582
Mijten	30.000	1.800	
Wormen	3.500	300	252

Aanvulling van de gegevens voor specifieke groepen is via raadpleging van deskundigen zeker mogelijk

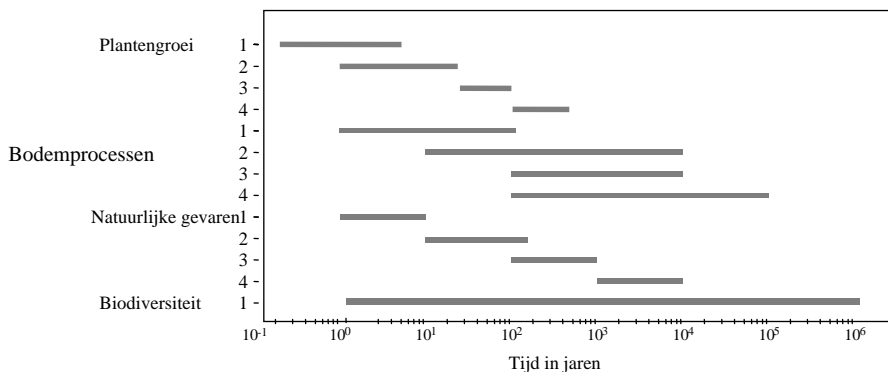
Discussies over de relatie tussen biodiversiteit en bodemleven concentreerden zich tot nu toe rond het begrip redundancy (Andrén & Balandreau 1999).¹⁶ Centrale vraag is hierbij in hoeverre een (groot) deel van het soortenrijke bodemleven kan worden gemist, gezien de waarneming dat in landbouwsystemen de grote ecosysteemprocessen voortgang vinden, ook bij een lagere soortenverscheidenheid. Het antwoord daarop komt voor een deel uit de waarnemingen over mest toediening en organische stofgehalte in figuur 3. Alleen door voortdurend voedingsstoffen aan het systeem toe te voegen, is die beperkte verscheidenheid aan soorten in staat om het systeem in stand en draaiende te houden. Bij een andere belangrijke bodemaantasting - bodemziekten en dergelijke - zorgt de verscheidenheid van antagonistische rhizosfeer-microflora voor een dempend effect. Uit modelstudies van de Ruiters (2004B),¹⁷ blijkt verder dat niet alleen de verscheidenheid aan soorten een rol speelt. Ook de mate waarin de verschillende soortengroepen betrokken zijn bij de systeemprocessen is van belang, zoals afgelezen kan worden aan de omvang van de biomassa- en nutriëntenstromen die via deze groepen lopen. Over aantasting of achteruitgang van de bodembiodiversiteit is nog weinig bekend; er is nauwelijks bekend hoeveel soorten er in totaal zijn. Duidelijk is dat intensief beheerde systemen een sterk verlaagde diversiteit hebben, zie de studie van Krogh (1994)¹⁸ in verschillende landbouwsystemen. Maar of dit onherstelbaar is, en leidt tot een verlaging van de diversiteit in absolute zin is nog onduidelijk.

3. DUURZAAMHEID EN VITALITEIT VAN BODEMPROCESSEN

De duurzaamheid van bodemprocessen kan worden beoordeeld aan de hand van de snelheid waarmee een bodemprofiel wordt opgebouwd en afgebroken (Fresco & Kroonenberg 1992).¹⁹ Dit kan vervolgens vergeleken worden met de duur van bepaalde cyclische, biologische systeemprocessen en van herstelprocessen na natuurlijke calamiteiten (figuur 5). Bodemopbouw

vergt een veel langere periode dan erosie of uitspoeling. Ook in vergelijking tot herstel van catastrofes vergen bodemvormende processen veel langere perioden. Opnieuw een reden om aan fysische bodembedreiging alle aandacht te geven. Voor de tijdsduur die nodig is om de biodiversiteit van macrofauna en –flora te herstellen geven Fresco en Kroonenberg (1992)¹⁹ een periode van 10.000 tot 1.000.000 jaar aan, uitgaande van evolutionair herstel. Herstel kan echter ook optreden door (her)kolonisatie van buitenaf of doordat organismen zich (overerfbaar) aanpassen. Van sommige microbiologische aanpassingsprocessen is bekend dat deze een jaar of korter vergen. Hierdoor gaan bepaalde micro-organismen beter functioneren, al dan niet overerfbaar. Het lijkt daarom redelijk de tijdsas voor biodiversiteit te verlengen tot kortere perioden van 5 á 10 jaar als ook micro-organismen en kleinere diersoorten (denk bijvoorbeeld aan bodemaaltjes) in de beschouwing worden betrokken.

De consequentie van aanpassing is echter dat het een zekere prijs heeft: aanpassing aan factor A gaat vrijwel altijd ten koste van een verlies in aanpassing aan factor B. Zo konden pissebedden, die zich hadden aangepast aan een verhoogd gehalte aan zware metalen, minder goed hun vochtthuishouding regelen (Donkers & Bogers 1991).²⁰ Aangezien pissebedden waterdieren zijn die op het land hebben leren leven en nog steeds kieuwen hebben, zullen de overlevingsmogelijkheden van dergelijke soorten beperkt zijn. Doelman et al. (1994)²¹ gingen na hoe micro-organismen, die geadapteerd zijn aan zware metalen, verschillende voedingssubstraten van toenemende complexiteit gebruiken. De geadapteerde stammen vertoonden een verminderde capaciteit tot afbraak van organisch materiaal, vooral van complexere, moeilijker verteerbare verbindingen.



Planten groei:

1. duur teeltcyclus 1-jarig gewas inclusief gewasrotatie tot 5 jaar
2. duur teeltcyclus meerjarig gewas
3. duur teeltcyclus productiebos
4. gemiddelde biomassa-omzetting van tropisch regenwoud

Bodem processen:

1. tijdsduur volledige erosie bovengrond (topsoil)
2. tijdsduur van ernstige nutriënten uitspoeling in vochtige tropen
3. tijdsduur nutriëntenuitspoeling gematigde zone
4. benodigde tijdsduur voor vorming volledige bovengrond (topsoil)

Natuurlijke rampen:

1. frequentie interval tussen gematigde overstromingen in benedenstroomse gebieden
2. frequentie interval ernstige overstromingen
3. frequentie interval vulkanische (as)uitbarstingen
4. frequentie interval vernietigende vulkaanuitbarstingen

Biodiversiteit:

1. benodigde tijd voor volledig herstel van macroflora en –fauna door evolutie na ingrijpende verstoring (10.000 tot 1.000.000 jaar.) en inclusief microbiële aanpassing (1 tot 10.000 jaar)

Figuur 5: *Tijdschalen van verschillende biotische en abiotische processen op verschillende ruimtelijke schalen (aangepast naar Fresco & Kroonenberg 1992).*¹⁹

Om de vitaliteit van het bodemleven te beschrijven stellen we drie proces- en 1 structuurkenmerk voor: Robuustheid, Rekbaarheid (in het Engels resilience), Herstelcapaciteit (in het Engels recovery) en Rijkdom aan soorten en processen. De eerste drie begrippen geven aan of een systeem: snel en/of gemakkelijk uit zijn evenwicht te brengen is (oftewel robuust is), of het snel en/of gemakkelijk na een verstoring wordt terugkomt in de evenwichtstoestand (resilient is) en of een systeem zich kan herstellen na een langdurige ingrijpende verstoring (recovery vertoont). De Ruiters (2004B)¹⁷ heeft laten zien dat het aantal soorten en in het bijzonder de sterkte van de interacties tussen de soorten voor die laatste bepalend zijn.

Domsch et al. (1983)²² onderzochten robuustheid, rekbaarheid en herstelbaarheid door na te gaan wat de normale fluctuaties zijn van bacteriepopulaties onder invloed van natuurlijke stressfactoren (koude, droogte, hitte, overstroming). Zowel bij lage als hoge populatieniveaus bleek in de aantalsfluctuaties de verhouding tussen de hoogste en laagste aantallen steeds ongeveer een factor tien te omvatten. Een populatie kan gereduceerd worden tot er 10% over is, en dan kan deze zich nog herstellen. Dit geeft een leidraad om vast te stellen wanneer inderdaad sprake is van een onacceptabele reductie in aantallen of activiteiten van een populatie, of wanneer de waargenomen reductie toegeschreven kan worden aan natuurlijke aantalsfluctuaties. Aanvullende studies van Eijsackers *et al.* (1988) lieten zien dat deze factor 10 ook voor verschillende typen bodemfauna geldt. Jones en Hart (1998)²⁴ vonden dat regenwormen zich binnen één jaar volledig herstelden van een 90% aantalsvermindering door bestrijdingsmiddelen met een beperkte werkingsduur (halfwaardetijd van minder dan 50 dagen, zodat na 200 dagen nog 6.25% over is). Voor persistente bestrijdingsmiddelen (halfwaardetijd meer dan 50 dagen) was er na één jaar slechts sprake van een beperkt herstel.

4. DE INVLOEDEN VAN BODEMVERONTREINIGING TEN OPZICHTE VAN ANDERE BEDREIGINGEN EN HOE DEZE TE METEN

De Europese Unie onderkent acht bedreigingen van de bodemkwaliteit. Dit zijn: erosie; verontreiniging (lokaal en diffuus); verlies van organisch materiaal; verlies aan biodiversiteit; compactie en andere fysische ingrepen; verzilting; overstromingen en landverschuivingen; oppervlakte-afsluiting. Over de effecten van verontreiniging op het bodemleven is relatief veel bekend, maar van andere factoren veel minder; zie Van Straalen (2004)²⁵ voor ongewervelde bodemdieren en Edwards (2004)²⁶ voor regenwormen. Daarnaast zijn regenwormen zeer gevoelig voor grondbewerking, vooral de diepgravende soorten. Volgens Edwards (1989)²⁷ doet bodemcultivering (ploegen, eggen, en dergelijke) meer schade dan het gebruik van bestrijdingsmiddelen. Van de Bund (1979)²⁸ vond bij een vergelijking van 18 landbouwbedrijven, dat vooral bodemcultivering, naast gewas en bodemtype, een negatief effect op de bodemfauna (springstaarten en mijten) heeft. Dit kwam in het bijzonder door een veranderde textuur van de bodem en de daardoor gewijzigde bodemdoorluchting. Krogh (1994)¹⁸ ordende landbouwsystemen naar gelang hun geschiktheid als woonplaats (habitat) voor springstaarten, afhankelijk van bodembehandeling, gewas en teeltduur. Chemische stressfactoren speelden een minder belangrijke rol dan bodembewerking en bodembedekking, een kaal bodemoppervlak werkte negatief door. Bij monitoring ten behoeve van bodembescherming zullen, naast chemische factoren, ook fysische factoren van aanzienlijk belang zijn. Daarom pleiten wij ervoor om uit te gaan van een combinatie van fysische, chemische en biologische kenmerken. Wat betreft biologische kenmerken zal bovendien op verschillende niveaus van biologische organisatie gemeten moeten worden, om recht te doen aan de complexiteit van deze systemen. Dit betreft:

- Biomarker-kenmerken op sub-cellulair, fysiologisch en biochemisch niveau.
- Individuele kenmerken die specifiek zijn voor een soort, of een nauwverwante groep van soorten.

- Gemeenskapskenmerke, soos spesifieke soortkombinasies by plantegroei of bodemaaltjies, soortinteraksies, maar ook graaf- en bioturbasie-aktiwiteite van regenwurm as totale groep.
- Ecosistemies (proses) kenmerke soos bodemademhaling, bodemensim- sistemies, organiese stofproduksie, primêre plantegroei, doorgifte van stowwe in die voedselketting.

Die meeste onlangse ontwikkelings op die gebied van die meting van effekte van stressfaktore op die bodemlewe betref biomarkers. Dit is fisiologiese of biochemiese prosesse op (sub)cellulêre vlak wat gevoelig is vir sekere (groepe van) verontreinigende stowwe; Reinecke (2005)²⁹ gee hiervan 'n uitstekende oorsig. Haynes en Graham (2004)³⁰ stel dat hierdie tipe ondersoek saam met mikrobiologiese ondersoek die moderne raamwerk is vir bodembioologiese ondersoek; al val hierop wel wat af te dinge. Op die eerste plek gaan dit hierby altyd om (sub)cellulêre prosesse waarby opnameprosesse, sowel deur organismes vanuit die omgewing as binne 'n organisme na 'n sekere orgaan, nie in beskouing word nie. Ondersoek na verskille in gevoeligheid en resistensie van na verwante spesies laat sien dat hierdie opname- en transportprosesse groot verskille in effekte kan veroorsaak. Verder word deur 'n soortgelyke fisiologiese/biochemiese aanpak geen aandag bestee aan die delikate interaksies tussen spesies. Onlangse ondersoek het laat sien dat hierdie interaksies baie verder gaan as 'n eenvoudige predator/prooi- verhouding, maar dat allerlei spesies plante en diere met signaalstowwe om belagters af te skrik of selfs om predatore van hierdie belagters aan te trek (Dicke 2000).³¹

Voor 'n doeltreffende monitoring dien mens ook te verstaan dat die bedoeling is om 'n boodskap oor te bring. Dit kan in 'n waarskuwende zin wees, 'n plotselinge gebeurtenis of 'n heel nuwe ontwikkeling, of 'n aanduiding van 'n (soms baie) geleidelike langjarige verandering. In beide gevalle is 'n aansprekende kenmerk nodig om die publiek en politici (en as gevolg daarvan die beleid) te oortuig van die noodsaak om aandag te bestee aan 'n soortgelyke gebeurtenis of geleidelike verandering. Dit is dan aanbevelenswaardig om bedreigde, aantreklike (so genoemde *flagship species*), of ekologiese sleutelspesies aan te wend. Helaas kent die bodemlewe baie min spesies, ondanks die enorme diversiteit en vormrykdom van die bodemlewe. Spesies met 'n duidelike ekologiese funksie as regenwurm, vanweë hul aktiwiteite en posisie in die voedselketting, word deur 'n deel van die publiek nog wel as eng en onaantreklik beskou, maar sou hierdie *flagship*-rol kan vervul. Samenvattend word daarom voorgestel en bevestig (Doelman & Eijssackers 2004)⁴ om uit onderstaande stel van biologiese+chemiese+fysische metings 'n seleksie te maak om die bodem en die bodemlewe te monitor (tabel 4).

TABEL 4: Gekombineerde gewenste monitorkenmerke vir 'n vitale bodem

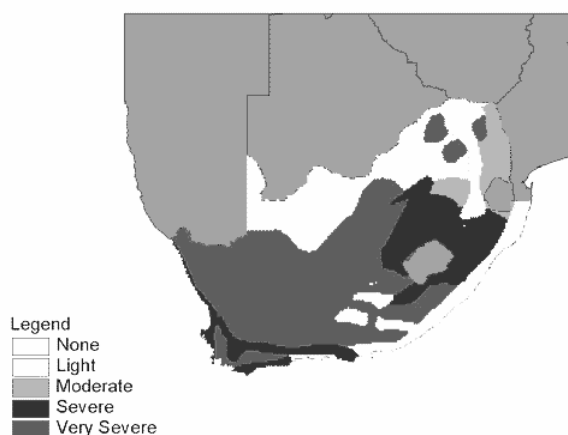
Biologies	Chemies	Fisies
- Wortels;	- kwaliteit grondwater	- bodem tipe (sand-klei-veen);
- mikrobiële biomassa;	(nutriente, sout, pH);	- soortlike gewig;
- ademhaling;	- totaal koolstof;	- makro porositeit.
- nitrifikasie;	- totaal stikstof;	
- diversiteit mikro	- totaal fosfaat en P-Oksien.	
arthropode;		
- voedselweb nematode;		
- ekologiese klassifikasie		
regenwurm.		(landskap struktuur)

Monitoring kent daarby 'n aantal praktiese beperkings: dit moet eenvoudig, betroubaar, en goedkoop wees. Eenvoudig omdat dit op baie plekke deur verskillende mense, ook sonder uitvoerige instruksie, korrek kan word uitgevoer. Betroubaar sodat ligte wisselende

omstandigheden of verschillen in de uitvoeringen geen ingrijpende gevolgen hebben voor de uitkomsten. Goedkoop omdat monitoring zijn waarde vooral ontleent als het over een langere periode of over een groter oppervlak kan worden uitgevoerd. Monitoring zal altijd onderdeel zijn van een afwegingsproces: wat kost het en wat wordt bespaard. In geval van signalering kan dat het voorkomen van een catastrofe zijn doordat men gewaarschuwd wordt. Monitoring is zinvol als het tijdig wijst op langzame veranderingen die kunnen worden aangepakt voordat de gevolgen onoverkomelijk of niet meer te beheren of beheersen zijn. Een voorbeeld daarvan is het zure regenonderzoek in Europa. Dat heeft ertoe geleid dat de uitstoot van SO₂ zodanig snel is gereduceerd, dat het voorspelde “Grosse Waldsterben” niet heeft plaats gevonden, en de Europese bossen zich na een periode van teruggang weer aan het herstellen zijn (RIVM 2000).³² Monitoring kan ook gebruikt worden om eventueel noodzakelijke beheersmaatregelen te kunnen beperken of zelfs opschorten. ‘Natural attenuation’ van bodemverontreinigingen gaat er van uit dat natuurlijke processen in de ondergrond over langere termijn er voor zullen zorgen dat de verontreiniging langs natuurlijke weg verdwijnt (Peijnenburg 2004).³³ Monitoring moet dan tijdig waarschuwen voor onverwachte ontwikkelingen die wel schadelijke gevolgen kunnen hebben, bijvoorbeeld een niet voorziene verspreiding van de verontreiniging in het grondwater waardoor drinkwaterbronnen bedreigd worden. Evenzo kan men denken aan een monitoringsysteem dat de rehabilitatie van afvaldepots (onder andere minetailings) bewaakt.

5. SITUASIE VAN GRONDBESKERMING IN SUID AFRIKA

Grondbeskerming in Suid Afrika het vir die eerste keer gedurende die vroeë 1950's onder die soeklig beland toe wette opgestel is wat alle myne verplig het om sliedamme te beplant ten einde stofbesoedeling te bekamp (Marsden 1985).³⁴ Na aanleiding van data uit 'n projek wat die Verenigde Nasies (VN) geloods het, naamlik die Global Assessment of Soil Degradation (GLASOD) is dit egter duidelik dat, gebaseer op inligting van meer as 15 jaar gelede, 'n groot area as erg gedegradeer beskou kan word (figuur 6).



Figuur 6: Die omvang van degradasie in gronde van Suid Afrika. (Aangepas uit Oldeman *et al.* 1990 soos weergegee op die Voedsel en Landbou Organisasie van die VN se webtuiste).³⁵

Legende: None (Geen); Light (Gering); Moderate (Matig); Severe (Erg); Very severe (Baie erg).

Dit ten spyte daarvan dat Suid Afrika goed ge-positioneer is wat betref wetgewing ten opsigte van landbou asook land- en waterbestuur met 'n hele aantal staatsdepartemente om hierdie aangeleenthede aan te spreek. Die fokus lê egter op die beskerming van grond vanuit 'n landbou-oogpunt, wat ekonomiese impakte het, met die gevolg dat die meeste navorsing dus ook beskerming van landbougrond van as uitgangspunt het. Desnietemin is daar wette wat op die beskerming van grond toegepas kan word. Hierdie wette is vervat in 'n "Oorsig van die Nasionale Stand van die Omgewing Verslag" soos saamgestel deur Ballance en King (1999)³⁶ waarin 'n oorsig gegee word van die Nasionale Stand van die Omgewing Verslag (1999)³⁷ soos saamgestel deur die Departement van Omgewingsake en Toerisme. Die verslag het inligting verskaf ten opsigte van die omgewing in terme van biofisiese komponente asook aktiwiteite wat 'n invloed daarop het soos weergegee in tabelle 6 en 7. Dit gee 'n goeie aanduiding van hoe die beskerming van grond figureer in Suid Afrika ten opsigte van wetlike voorskrifte, maar in teenstelling met die Europese Unie word spesifieke bedreigings vir grond nie vervat nie.

TABEL 6: Opsomming van wetgewing ten opsigte van die omgewing (land, lug en water) en die maatskaplike relevansie daarvan (aangepas uit Ballance & King 1999)³⁶

Nasionale beleid/wetgewing	Maatskaplike relevansie
Die Grondwet (Wet 108 van 1996)	Bied aan alle Suid-Afrikaners die reg op gesonde omgewing en die reg op die beskerming van die omgewing
Wet op Nasionale Omgewingsbestuur (Wet 107 van 1998)	Om skade aan die omgewing te voorkom of so klein moontlik te hou en om reeds vervalle omgewings te herstel
Konsepbeleid oor die Bestuur van Besoedeling en Afval (Witskrif, 1998)	Om die voortbrenging van afval en besoedeling so laag moontlik te hou, om die hergebruik en hersikling van afval te bevorder en om die doeltreffende en veilige hantering van afval en besoedeling te verseker
Nasionale Waterwet (1998)	Om die volhoubare gebruik van waterhulpbronne te bevorder en om aan basiese menslike behoeftes en ekologiese vereistes te voldoen
Konsepbeleid oor Energie (Witskrif, 1998)	Om weg te doen met subsidies op elektrisiteitsopwekking en om die uitwerking van besoedeling wat uit elektrisiteitsopwekking spruit, so klein moontlik te hou
Wet op die Voorkoming van Lugbesoedeling (1965)	Om die emissie van besoedelingstowwe in die atmosfeer so laag moontlik te hou
Wet op Nasionale Omgewingsbestuur: Lugkwaliteit Wet (Wet 39 van 2004)	Om die omgewing te beskerm deur redelike riglyne daar te stel vir die voorkoming van lugbesoedeling deur middel van standaarde wat lugkwaliteit monitering reguleer

TABEL 7: Opsomming van programme en strategieë ten opsigte van die omgewing (land en water) en die maatskaplike relevansie daarvan (aangepas uit Ballance & King 1999)³⁶

Programme en strategieë	Maatskaplike relevansie
Strategiese omgewingswaarderings, Omgewingsinvloedwaarderings, Omgewingsbestuursplanne	Om te verseker dat die invloed van ontwikkeling of praktyke begryp word, dat skade aan die omgewing so klein moontlik gehou word en dat reeds beskadigde omgewings herstel word
Werk-vir-Water-program	Om uitheemse plantegroei uit opvanggebiede te verwyder, om sodoende afloop te verbeter en bioverskeidenheid in die hand te werk en om werk te skep
LandCare-inisiatief, Nasionale Beweidingsstrategie, Veevermindering-skemas, Program vir Verantwoordelike Sorg	Om volhoubare produksietegnieke te bevorder en daardeur skade aan plantegroei en die grond so klein moontlik te hou

Alhoewel daar standarde (Departement van Waterwese en Bosbou 1997)³⁸ vir water bestaan, is tot op hede nog geen wetgewing wat standarde voorskryf vir die toegelate vlakke van besoedeling in grond nie. 'n Moontlike rede hiervoor kan wees dat grond nie beskou word as 'n skaars kommoditeit soos in die geval van water nie. Die wetgewer verplig wel industrieë om vlakke van besoedeling te lys en aan te dui hoe sodanige besoedeling bestuur sal word ten opsigte van opruiming en/of rehabilitering. In terme hiervan moet so 'n verantwoordelike party, soos uitgespel in die Wet op Nasionale Omgewingsbestuur (Wet 107, 1998), die volgende doen:

- Die impak van aktiwiteite op die omgewing ondersoek, asseseer en evalueer.
- Werkers inlig/opvoed ten opsigte van die omgewingsrisiko van hul werk en hoe hul take verrig moet word om besoedeling te voorkom.
- Enige prosesse wat besoedeling veroorsaak, stop, verander of kontroleer.
- Beweging van besoedelingstowwe of oorsaak van degradering indam of verhoed.
- Die bron van besoedeling of degradering elimineer.
- Die effekte van besoedeling of degradering remidieer.

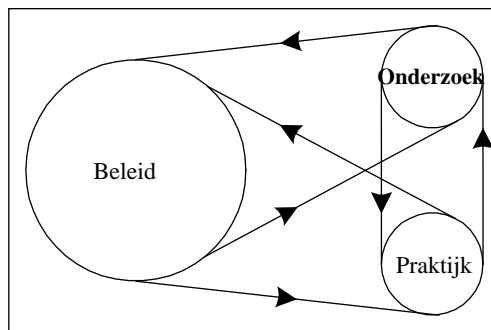
Volgens Haynes en Graham (2004)³⁰ word grondwetenskaplikes wêreldwyd goed opgelei in velde soos grondbiologie en -biochemie wat groot moontlikhede aan hulle bied in terme van navorsings- en werkgeleenthede. Dit is volgens die outeurs egter nie die geval in Suid-Afrika nie, met die gevolg dat navorsing in hierdie rigtings skaars is. Die meeste relevante navorsing word gevolglik deur dierkundiges, mikrobioloë en plantkundiges gedoen alhoewel selfs hierdie navorsing op die rand van hoofstroom grondbiologie val. Resultate van hierdie studies word ook grotendeels bespreek vanuit 'n Europese oogpunt. Dit is duidelik dat daar 'n beperkte aantal navorsers in Suid-Afrika is wat grondbiologiese navorsing doen, veral vanuit die oogpunt van die invloed van antropogeniese aktiwiteite op die omgewing. In die lig hiervan is daar nog 'n magdom moontlikhede vir navorsers in Suid-Afrika rakende die effekte van landbou- en industriële aktiwiteite op grond. Die uitdaging sal wees om Suid-Afrikaans-spesifieke organismes en grondprosesse te identifiseer wat as bioindikatore van besoedeling of versteuring gebruik kan word. 'n Eerste stap sou moontlik wees om 'n forum van belanghebbendes vanuit tersiêre inrigtings en die privaat sektor bymekaar te bring om 'n plan-van-aksie dokument rakende grondbewaring en -navorsing saam te stel. Die Nasionale Navorsingstigting (NNS) kan 'n sleutelrol in die organisering van so 'n forum speel aangesien hulle oor 'n databasis beskik van navorsers wat hulle befonds. Daar moet in gedagte gehou word dat hierdie navorsing 'n rol moet speel in die opstel van beleid vir die beskerming van grond en dus toeganklik moet wees vir politici. 'n Verdere stap sal dan wees om standarde (benchmarks) daar te stel van wat aanvaarbare vlakke van besoedelingstowwe in grond moet wees. Dit kan soos in die geval van water gekategoriseer word in terme van die gebruik van sodanige grond, byvoorbeeld die vlakke van

besoedeling in speelgronde (met moontlike ingestie) se vlakke van besoedeling moet baie laer wees as grond wat gebruik word vir industriële doeleindes.

Die belangrikheid van grond en behoud van grondbiodiversiteit sal alleenlik op die voorgrond tree nadat daar genoeg bemarking gedoen is oor die belang daarvan. Indien die publiek en wetgewers bewus is van die moontlike krisis wat ons in die gesig staar as daar nie binnekort aandag aan die saak gegee word nie, sal die hoeveelheid “gesonde” (vitale) grond binne ’n paar generasies, soos in die geval van water in Suid-Afrika, ook ’n beperkte hulpbron wees. Die sanitasie van grond is egter nie so maklik soos dié van water nie, indien wel moontlik.

6. EEN GEZAMENLIJKE ROL VOOR OVERHEID, PRAKTIJK (INDUSTRIE) EN ONDERZOEK

Genoemde aktiviteite moet nie alleen vanuit het onderzoek worden opgezet en uitgevoerd, maar als een intensieve samenwerking tussen beleid, onderzoek en praktijk. Dit is in figuur 7 conceptueel aangegeven als drie met elkaar verbonden draaiende schijven. Deze drie schijven kunnen niet los van elkaar functioneren. Het maakt niet uit welk onderdeel begint te bewegen, de anderen zullen (moeten) volgen. De snelheid van beweging tussen beleid en praktijk bepaalt ook de snelheid en richting van de beweging tussen beleid en onderzoek, en van praktijk en onderzoek. De grootte van de schijven – de omvang van de betreffende aktiviteite – is van invloed op de snelheid van de beweging. Dat heeft tot gevolg dat als een groot lichaam langzaam ronddraait, een kleinere schijf die snelheid alleen maar kan bijhouden door veel sneller rond te draaien.



Figuur 7: *Conceptueel model van die verbondenheid van Beleid, Onderzoek en Praktijk*

Die analogie met het bodembeschermingsbeleid is duidelik. Ook bij een langzaam werkende overheid zal het onderzoek – op het moment dat het beleid in beweging komt – snel en adequaat moeten reageren. In deze figuur is die omvang van beleid, praktijk en onderzoek hipotetiesch weergegeven, en vooral bedoeld om aan te gee hoe deze groepe interakteren. In die Nederlandse situasie gaf die overheid die startsein tot bodembeschering (die situasie in Lekkerkerk), gevolg deur een periode waarin vooral het onderzoek aktief was, met momenteel een situasie waarin vooral die praktijkmense tempo en rigting van die ontwikkelinge bepalen. Om die bodembescheringssituasie in Suid-Afrika te verbeter is ons pleidooi om een goede samenwerking tussen Beleid, Onderzoek en Praktijk te creëen. Daarnaast zou voor het forum, zoals voorgestel aan die einde van die vorige Afdeling, gebruik kunnen worden gemaak van die ervaringe in Nederland. Bijna 40 jare bodembescheringsbeleid én – onderzoek hebben daar geleerd wat effektief wel en wat niet te doen. Voor een duurzame oplossing speelt het bodemlewe daarby een vitale rol.

7. REFERENTIES

1. Eijsackers, H. (2004). Leading concepts towards Vital Soil. In Doelman, P., Eijsackers, H. (eds.) *Vital Soil* (Amsterdam, Elsevier) p. 1-20.
2. Souren, A.. (2006). *Standards, soil, science and policy. Labelling usable knowledge for soil quality standards in The Netherlands, 1971-2000*. PhD Thesis Vrije universiteit Amsterdam.
3. Beurskens, J.E.M., Mol, G., Barreveld, H.L., Munster, B. Van, Winkels, H.J. (1993). Geochronology of priority pollutants in a sedimentation area of the Rhine River. *Environ. Toxicol. Chem.*, 12, 1549-1566.
4. Doelman, P., Eijsackers, H. (eds.). (2004) *Vital Soil* (Amsterdam, Elsevier).
5. European Community. (2002). *Towards a thematic strategy for soil protection*. COM 179 Final, Brussels.
6. Paul, E.A., Clark, F.E. (1989). *Soil microbiology and biochemistry*. (San Diego, Academic Press).
7. Cuypers, C. (2001). *Bioavailability of polycyclic aromatic hydrocarbons in soils and sediments*. Proefschrift Wageningen Universiteit, Wageningen, 161p.
8. Oldeman, L.R., Hakkeling, R.T.A., Sombroek, W.G. (1990). *World map of the status of human-induced soil degradation*. (Wageningen, ISRIC-UNEP).
9. Vries, W. de, Voogd, J.C.H., Kors, J. (1993). *Effects of various deposition scenarios on the aluminium hydroxide content of Dutch forest soils*. Report 68 (Wageningen, Winand Staring Centre).
10. Salomons, W., Stigliani, W.M. (1995). *Biogeodynamics of pollutants in soils and sediments*. (Springer Verlag, Berlin).
11. Eijsackers, H., Zehnder, A. (1990). Litter decomposition: a Russian matriochka doll, *Biogeochemistry* 11, 153-174.
12. Kooistra M.J., Lebbink G., Brussaard L. (1989). The Dutch programme on soil ecology of arable farming systems. 2. Geogenesis, agricultural history, field site characteristics and present farming systems at the Lovinkhoeve experimental farm. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 27:361-387.
13. Minderman, G. (1968). Addition, decomposition and accumulation of organic matter in forests. *J. Ecol.* 56, 355-362.
14. Ruiter De, P. (2004A). De Ecologische Waarde van de Bodem. *Bodem, tijdschrift over duurzaam bodembeheer*, 236-238.
15. Adie, H., Wethered, R., Herbert, D., Lewis F. (2005). *The state of the nature of South African biosystematics study*. Investigation report no.: 254. (Scottsville, Institute of Natural Resources).
16. Andrén, O, Balandreau, J. (1999). Biodiversity and soil functioning – from black box to can of worms ? *Appl. Soil Ecol.* 13, 105-108.
17. Ruiter De, P. (2004B). Balance and stability in vital soils. In Doelman, P., Eijsackers, H. (eds.). *Vital Soil* (Amsterdam, Elsevier) p. 197-214.
18. Krogh, P.H. (1994). *Microarthropods as Bioindicators: a study of disturbed populations*. PhD-thesis, National Environmental Research Institute, Silkeborg.
19. Fresco, L.O. , Kroonenberg, S.B. (1992). Time and space scales in ecological sustainability. *Land use policy* 1992, 155-168.
20. Donkers, M.H., Bogers, C.G. (1991). Adaptation to cadmium in three populations of the isopod *Porcellio scaber*. *Comp. Biochem. Physiol.*, 100c, 143-146.
21. Doelman, P., Jansen, E., Michels, M., Til M. van, (1994). Effects of heavy metals in soil on microbial diversity and activity; the sensitivity/resistance index, an ecologically relevant parameter. *Soil Biol. Ferti. Soils*, 17: 177-184.
22. Domsch, K.H., Jagnow G., Anderson, T.H. (1983). An ecological organisms concept for the assessment of side-effects of agrochemicals on soil micro-organisms. *Residue Reviews* 86, 65-160.
23. Eijsackers, H., Bund van de C.F., Doelman P., Ma, W.C. (1988). *Aantallen en fluctuaties van het bodemleven (Numbers and activities of soil life)*. Report RIN 88/33, (Arnhem, Rijksinstituut voor Natuurbeheer).
24. Jones, A. , Hart, A.D.M. (1998). Comparison of laboratory toxicity tests for pesticides with field effects on earthworm populations: a review. In S. Sheppard, J. Bembridge, M. Holmstrup and L. Posthuma (eds.), *Advances in earthworm ecotoxicology*. (Pensacola, SETAC-press) p. 247-267.
25. Straalen, N.M., (2004). The use of soil invertebrates in ecological surveys of contaminated soils. In Doelman, P., Eijsackers, H. (eds.). *Vital Soil* (Amsterdam, Elsevier) p.159-196.
26. Edwards, C.A. (ed.). 2004. *Earthworm Ecology*. Second edition. (Boca Raton, CRC Press).

27. Edwards, C.A. (1989). The importance of integration in sustainable agricultural systems. *Agr. Ecosystems and Environment* 27, 25-35.
28. Bund, van de C.F. (1979). De bodemfauna van bouwland in verband met neveneffecten van bestrijdingsmiddelen in de praktijk (Soil fauna of arable land in relation to side-effects of pesticides in practice). *Landbouw en Plantenziekten*, 7-8 Februari, Wageningen, p. 34-50.
29. Reinecke, S.A. (2005). Ou en nuwe tendense in die ekotoksikologie: die relevansie van stresekologie en ekotoksikogenomika, *SA Tydskrif vir Natuurwetenskap en Tegnologie*, 24, 52-59.
30. Haynes, R.J., Graham, M.H. (2004). Soil biology and biochemistry – a new direction for South African soil science? *S. Afr. Tydskr. Plant Grond*, 21, 330-344.
31. Dicke, M. (2000). Chemical ecology of host-plant selection by herbivorous arthropods: A multitrophic perspective. *Biochemical Systematics and Ecology*, 28: 601-617.
32. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. (2000). *Nationale Milieuverkenning, 2000-2030*. (Alphen aan den Rijn, Samsom).
33. Peijnenburg, W. (2004). Fate of contaminants in soil . In Doelman, P., Eijsackers, H. (eds.). *Vital Soil* (Amsterdam, Elsevier), 245-280.
34. Marsden, M.D. (1985). *Gold mine reclamation practices as implemented by the Chamber of Mines vegetation unit and developments by the Potchefstroom University – NTC Institute for Ecological Research*. Proceedings of the Revegetation Symposium for Mining Groups, Potchefstroom, pp. 53–59.
35. Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2006). *National Soil Degradation Maps*. <http://www.fao.org/landandwater/agll/glasod/glasodmaps.jsp?country=ZAF&search=Display+map+%21>
36. Ballance, A., King, N. (1999). *Stand van die omgewing Suid Afrika 1999 – 'n Oorsig*, Weaver, A., Le Roux, W., Pretorius, R. eds. (<http://www.ngo.grida.no.soesa/>).
37. Nasionale beleide, wetgewing, programme en strategieë is verkrygbaar op die volgende webadresse: <http://www.polity.org> of <http://www.actsonline.co.za>
38. Department of Water Affairs and Forestry (DWAF). (1996). *South African Water Quality Guidelines. Volume 4. Agricultural Use: Irrigation*. (Pretoria, The Government Printer).

OVER DE AUTEURS

Herman Eijsackers is voorzitter van de Wetenschappelijke Adviesraad van Wageningen Universiteit en Research Centrum, en daarvoor wetenschappelijk directeur van de Environmental Sciences Group en Alterra WUR. Hij heeft op het terrein van de bodemecologie, ecotoxicologie, natuur- en milieubeheer gewerkt. Dit omvatte onderzoek naar de invloed van regenwormen en andere bodemdieren op de bodemvitaliteit, naar de bedreiging daarvan door bodemverontreiniging (zware metalen, koperfungiciden en herbiciden als 2,4,5-T) en naar de gevolgen van de ingevoerde soort Amerikaanse vogelkers (*Prunus serotina*) op bosbodemecosystemen. Ook onderzoekt hij voor natuur- en milieubeleid de wisselwerking tussen publiek, onderzoek en beleid. Hij is buitengewoon hoogleraar aan de Vrije Universiteit te Amsterdam. Naast het schrijven van een aanzienlijk aantal wetenschappelijke artikelen heeft hij vijf boeken geredigeerd.



Peter Doelman studeerde Planteziektenkunde aan de Universiteit van Wageningen. Hij verkreeg zijn Doctorsgraad in 1978 aan de Universiteit van Groningen met een proefschrift getiteld: "Effecten van lood op de bodemmicroflora". Na twintig jaar onderzoek aan de effecten van zware metalen op bodembiota en aan bioremediatie van persistente organische verontreinigingen (POP's) bij het Rijksinstituut voor Natuurbeheer in Arnhem, voegde hij zich bij de wereld van de praktische 'grote schoonmakers'. Hij geeft de voorkeur aan, en geniet van, een verbindende rol tussen de wetenschap en de praktijk van de biologie van de bodem.



Mark Maboeta is tans senior lektor aan die Noordwes-Universiteit (Potchefstroom-kampus) waar hy in 2003 begin doseer het. Na voltooiing van sy voorgaande en nagraadse studies by die Universiteit van Stellenbosch (PhD 2000) het hy as nadoktorale genoot by die toe Potchefstroom Universiteit vir CHO aangesluit (2001–2002). Sy navorsingsfokus is ekotoksikologie met spesifieke fokus op die grondomgewing. Tot op hede het hy bydraes gemaak tot 19 artikels in geakkrediteerde vaktydskrifte en 'n hoofstuk in 'n boek. Hierdie bydraes is ook gelewer by 10 nasionale en 12 internasionale kongresse. Hy is tans medepromotor van twee PhD- en studieleier van twee MSc-studente. Sy navorsing word grotendeels befonds deur die Nasionale Navorsingstigting en die Noordwes-Universiteit (Potchefstroom kampus) en hy het onlangs 'n toekenning ontvang om vir drie jaar (2005–2007) saam met navorsers uit Italië te werk.

