

# De bodem onder ons bestaan



ALTERRA  
WAGENINGEN UR

# De bodem onder ons bestaan

Christy van Beek en Annemieke Smit

Alterra rapport 1908

Alterra, Wageningen, 2009

# Referaat

C.L. van Beek, A. Smit, 2009. *De bodem onder ons bestaan*. Wageningen, Alterra rapport 1908, 44 blz. 90 ref.

De bodem is een belangrijke factor voor Voedselproductie, Natuur en Landschap, Klimaat en Energie en als Natuurlijke hulpbron. Desondanks wordt bij het zoeken naar mogelijkheden om beleidsdoelen te verwezenlijken in veel gevallen niet gezocht naar de mogelijkheden die de bodem daarbij kan bieden. Dit boekje bevat een bloemlezing van voorbeelden, waarmee het belang van de bodem wordt geïllustreerd. Het is bedoeld als inspiratiebron voor iedereen die vanuit beleidsdoelen te maken krijgt met bodem.

Trefwoorden: voedselproductie, landgebruik, klimaat, energie, natuurlijke hulpbronnen

In opdracht van ministerie van LNV (BO-01-002-209)

ISSN 1566-7197

Dit rapport is gratis te downloaden van [www.alterra.wur.nl](http://www.alterra.wur.nl) (ga naar 'Alterra-rapporten'). Alterra verstrekt geen gedrukte exemplaren van rapporten. Gedrukte exemplaren zijn verkrijgbaar via een externe leverancier. Kijk hiervoor op [www.boomblad.nl/rapportenservice](http://www.boomblad.nl/rapportenservice).

© 2009 Alterra

Postbus 47; 6700 AA Wageningen; Nederland

Telefoon: (0317) 474700; fax: (0317) 419000; e-mail: [info.alterra@wur.nl](mailto:info.alterra@wur.nl)

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Alterra.

Alterra aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

# Inleiding

In november 2008 is namens Minister Verburg de Week van de Bodem geopend met de woorden: “Dames en heren, We lopen erover heen. Maken er gebruik van. Stoppen er van alles in. Maar we staan er zelden bij stil hoe belangrijk de bodem voor ons is.”

Dit boekje toont hoe de bodem bijdraagt of zou kunnen bijdragen aan ons dagelijks leven of aan (beleids)doelen die gesteld zijn. De voorbeelden zijn gerangschikt naar LNV beleidsthema's en dat is niet toevallig. De eerste versie van dit boekje is in opdracht van LNV gemaakt, met als doel beleidsmedewerkers attent te maken op de mogelijkheden die bodem biedt bij het verwezenlijken van hun beleidsdoelen. Al snel bleek dat meer mensen interesse hadden in dat werk en in overleg met, en betaald door, LNV is dit boekje uitgegeven.

Dit boekje is bedoeld als inspiratiebron, niet zozeer als naslagwerk. U zult al snel zien dat alle onderwerpen kort behandeld worden, zodat u in korte tijd kennismaakt met de vele mogelijkheden van de bodem. Voor wie meer wil weten over één of meerdere onderwerpen hebben we een uitgebreide referentielijst toegevoegd.

De versie voor LNV-medewerkers is in 2008 in overleg met Marian Hopman (Ministerie van LNV) tot stand gekomen en vervolgens voorgelegd aan een leescommissie. Wij zijn de op- en aanmerkingen van Maartje Nelemans (Ministerie van VROM), André Smits (Provincie Drenthe), Joke van Wensem (TCB), Jan Huinink, Margreet Hofstede, Monique Brobbel, Bas Volkers (Ministerie van LNV), Bart van Tooren (Natuurmonumenten), Mark Heijmans (LTO) en Oene Oenema (Alterra) zeer erkentelijk. Ook willen we Annelies Visser en Adriaan Guldemon (CLM) en Simone Verzandvoort en René Rietra (Alterra) bedanken voor hun inbreng.



# Inhoud

|                                                         |           |
|---------------------------------------------------------|-----------|
| <b>I Voedsel.</b>                                       | <b>7</b>  |
| De juiste teelt op de juiste plaats                     | 8         |
| Van grond tot mond 1: voedingsstoffen                   | 9         |
| Van grond tot mond 2: verontreinigingen                 | 10        |
| Tarra: het oogsten van de bodem                         | 11        |
| Biologische landbouw                                    | 12        |
| De strijd om de ruimte                                  | 13        |
| Goede landbouwgronden onder druk                        | 14        |
| Gemeenschappelijk landbouwbeleid                        | 15        |
| <b>II Groen en landgebruik</b>                          | <b>17</b> |
| Bodem onder het landschap                               | 18        |
| Nationale landschappen                                  | 19        |
| Realisatie Ecologische Hoofdstructuur                   | 20        |
| De bodem als archief: aardkundige waarden               | 21        |
| Graag even (af)rekenen                                  | 22        |
| Pompen of verzuipen: bodemdaling in veenweidegebied     | 23        |
| <b>III Klimaat en energie</b>                           | <b>25</b> |
| CO <sub>2</sub> opslag en C vastlegging                 | 26        |
| Emissies van overige broeikassen uit de bodem           | 27        |
| Veranderend landgebruik en emissies van CO <sub>2</sub> | 28        |
| Klimaatverandering en bodemgebruik                      | 29        |
| Bodem en bio-energie                                    | 30        |
| De diepere ondergrond: opslag en bron van energie       | 31        |
| <b>IV Natuurlijke hulpbronnen</b>                       | <b>33</b> |
| Het einde van de fosfaatvoorraad                        | 34        |
| Bodem en waterkwaliteit                                 | 35        |
| Bodemverontreiniging                                    | 36        |
| Bodemdegradatie en de Europese bodemstrategie           | 37        |
| De mondiale potstal                                     | 38        |
| Biologische bodemkwaliteit                              | 39        |
| De bodem als derde dimensie                             | 40        |
| <b>V Geraadpleegde literatuur</b>                       | <b>43</b> |



# Voedsel

De bodem is een belangrijke productiefactor voor voedsel: het is de standplaats voor gewassen, houdt water en plantenvoeding (nutriënten) vast en geeft deze weer af. De productie van voedsel is direct en indirect verbonden met de bodem. Direct, door opname van nutriënten uit de bodem door gewassen. Indirect, door grazend vee dat via gewasopname melk en vlees produceert. De kwaliteit van de bodem vertaalt zich in de kwantiteit en kwaliteit van de voedselproductie. Een goede bodem kan meer en hoogwaardiger voedsel produceren. Maar de bodem kan de voedselproductie ook verstoren. Als de bodem bijvoorbeeld verontreinigd is of als de bodem niet (meer) in staat is om water en voedingsstoffen vast te houden nemen kwaliteit en kwantiteit van de voedselproductie af. In dit hoofdstuk wordt een aantal thema's gepresenteerd die de relaties tussen bodem en voedsel illustreren.



## De juiste teelt op de juiste plaats

Er zijn sterke relaties tussen bodem en landbouw, maar wat goed is voor het ene gewas, is niet per se goed voor het andere gewas. Aardappelen houden bijvoorbeeld van een lagere pH dan suikerbieten en groentegewassen hebben meer fosfaat nodig dan granen. Om deze reden is er niet één sluitende definitie van het begrip bodemvruchtbaarheid te geven, maar het bevat in ieder geval het aanbod van macronutriënten (stikstof, fosfaat en kalium), sporenelementen (zink, koper, e.d.) en fysieke bodemkwaliteit zoals wortelbaarheid en vochtleverend vermogen<sup>1</sup>.

Vroeger was de rol van de bodem in de voedselproductie veel groter; op vruchtbare kleigronden was het beter boeren dan op arme zandgronden. Enkele eeuwen geleden werden koeien uit Noord-Duitsland en Denemarken al naar Nederland gebracht vanwege het rijke ('vette') gras op de ontwaterde veengronden. Tegenwoordig is deze rol weggelegd voor pootaardappelen: de afwezigheid van stenen en de lage virusdruk hebben Nederland tot de grootste exporteur van pootaardappelen ter wereld gemaakt. En zo zijn er meer voorbeelden van gewassen die bij voorkeur in een bepaald gebied verbouwd worden vanwege de bodemeigenschappen in dat gebied:



- Bollen komen traditioneel van de geestgronden (zandgronden aan de kust met weinig organische stof), omdat de bollen van deze gronden schoon geoogst kunnen worden.
- Blauwe bessen worden geteeld op de ontgonnen hoogveengronden in de Peel en Twente, omdat deze gronden relatief zuur zijn.
- Witte en rode kolen uit de koolstreek in Noord-Holland, omdat daar geen aantasting door knolvoet optreedt.
- Fruit komt vaak uit de Betuwe, omdat de Betuwse kleigrond zwaar te bewerken is en bij fruitteelt nauwelijks grondbewerking nodig is.
- Asperges komen traditioneel uit Limburg vanwege de rulle zandgronden en voorheen ook de beschikbaarheid van arbeid.

Niet alleen het soort gewas, maar ook de samenstelling van gewassen wordt deels door de bodem bepaald. Zo heeft het sulfaatgehalte van de bodem invloed op de smaak en het gehalte antioxidanten in spruitjes.

## Van grond tot mond 1: voedingsstoffen

Gewassen nemen stoffen op uit de bodem, maar soms zijn de gehalten in de bodem niet in overeenstemming met de gewenste gehalten in het gewas. In grote delen van de wereld is het zinkgehalte in de bodem onvoldoende voor zowel het gewas als voor de menselijke consumptie van dit gewas. Zinkgebrek bij mensen komt tot uiting in verminderde eetlust, vertraagde groei en ontwikkeling, verhoogde kans op ziektes en vroegtijdige sterfte. Momenteel lijden naar schatting 2 miljard mensen (vooral vrouwen en kinderen) op de wereld aan zinkgebrek. Dat komt deels door de lage zinkgehalten in bodems in Afrika en delen van Azië en Latijns Amerika, deels ook door de voedingspatronen van mensen<sup>2, 3</sup>.

Een ander voorbeeld betreft seleen in graan. Amerikaanse bodems bevatten meer seleen dan de bodems in Europa. Het gebruik van meer Europees graan in plaats van Amerikaans graan heeft er o.a. toe geleid dat in Groot-Brittannië mensen een seleentekort kunnen ontwikkelen. In Finland was het (dreigende) seleentekort aanleiding om landbouwgronden te bemesten met seleen, maar tegelijkertijd leiden er in China mensen aan seleniumintoxicatie door een te hoog seleniumgehalte<sup>4</sup>. Ook in Nederland bestaan dergelijke voorbeelden: eenzijdig gebruik van broodgranen van zandgronden leidde tot circa 1900 tot jodiumtekorten bij grote delen van de Nederlandse bevolking. Voor de overheid vormde dit in 1963 aanleiding om jodiumtoevoeging aan broodzout te verplichten, maar sinds 1984 is de verplichting omgezet in een advies, dat overigens door bijna alle bakkers wordt opgevolgd<sup>5</sup>.

Sinds de intrede van het mestbeleid vanaf 1984 duiken er krantenkoppen op over dalende nutriëntengehalten in landbouwgewassen als gevolg van veranderende bemestingstechnieken en -hoeveelheden. Deze stelling wordt echter niet algemeen onderschreven<sup>6</sup>. Een vergelijking tussen oude en nieuwe voedingsmiddelenlijsten uit de VS en Engeland laten desalniettemin een daling van een aantal nutriënten zien, maar dit kan ook veroorzaakt zijn door veranderingen in rassen en/of bemonsteringstechnieken<sup>7</sup>.



## Van grond tot mond 2: verontreinigingen

Via de bodem kunnen ook toxische stoffen in de voedselkringloop komen. In enkele gevallen is de bodem zelf de oorzaak, zoals in Bangladesh waar arseen van nature in toxische concentraties voorkomt in de bodem. Vaker is bodemverontreiniging ontstaan door menselijk handelen. Een duidelijk voorbeeld hiervan is de bodemverontreiniging in de Kempen in Zuid-Oost-Brabant en Midden-Limburg. Tussen 1892 en 1973 is hier als gevolg van de zinkindustrie de bodem sterk verontreinigd met zink, cadmium, arseen, lood en koper. Groenten die op deze grond worden geteeld nemen deze metalen op en consumptie van deze groenten wordt afgeraden. Particulieren met moestuinen en boeren wordt daarom geadviseerd om de pH van de bodem te verhogen, voldoende organische stof toe te voegen en bij voorkeur geen wortelgewassen en bladgewassen te telen<sup>8</sup>.

Nitraat is een belangrijke voedingsstof voor planten en is een belangrijk bestanddeel van (kunst)mest. Gewassen nemen nitraat op en zetten het om in eiwitten. Echter, onder koude en/of natte omstandigheden hoopt nitraat zich op in het gewas. Bij consumptie wordt nitraat omgezet in nitriet en nitrosamine welke respectievelijk giftig en verdacht kanker-  
verwekkend zijn. Groenten in kassen bevatten doorgaans meer nitraat, omdat ze minder zonlicht ontvangen dan groenten die in de buitenlucht worden verbouwd. De belangrijkste nitratrijke groenten zijn andijvie, eikenblad- en ijsbergsla, spinazie, knolselderij en snijbiet. Voor deze groenten wordt aangeraden ze niet vaker dan twee keer per week te eten. Het EU-agentschap voor veilige voeding concludeerde overigens dat het nadeel van nitraat in groente wegvalt tegen de vitaminen en andere gezonde stoffen in deze producten. Slechts 2,5 procent van de Europeanen krijgt meer nitraat binnen dan de dagelijks aanvaardbare hoeveelheid door het eten van te veel bladgroente<sup>9</sup>.



Naast de 'bekende' verontreinigingen, zijn er recent ook nieuwe verontreinigingen gesignaleerd in de bodem, zoals medicijnresten, hormoonverstorende stoffen en diergeneesmiddelen. De landbouw kan hiervan zowel de veroorzaker als de ontvanger zijn. Op dit moment is er weinig bekend over de omvang en ernst van het probleem, waardoor de zorg over het voorkomen van deze stoffen in de bodem en de voedselketen blijft bestaan<sup>10</sup>.

## Tarra: het oogsten van de bodem

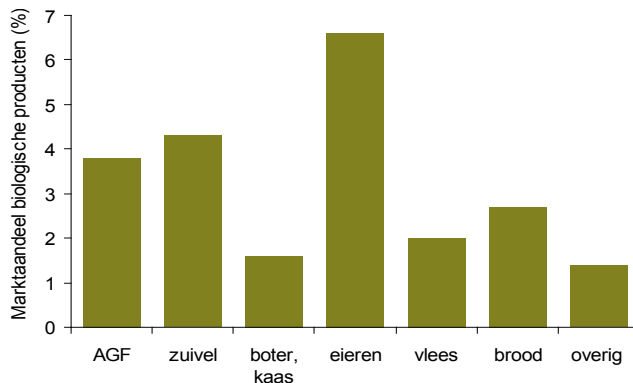
Slechts een klein deel van ons voedsel kan 'bodemloos' geteeld worden op substraten; de rest wordt in de volle grond verbouwd. Bij veel groenten is de bodem zelfs zichtbaar aanwezig, bijv. door grond die is blijven plakken aan aardappels en suikerbieten. Deze 'aangeplakte' bodem wordt tarra genoemd. Tarra kan tot aanzienlijke bodemverliezen leiden: in België zijn verliezen van gemiddeld 2.2 ton per hectare per jaar, met maxima van 45 ton per hectare gemeten voor aardappels<sup>11, 12</sup>. In Nederland spreekt de SuikerUnie over iets minder dan 4 ton per hectare voor suikerbieten<sup>13</sup>. Dit is een vermindering van 70-80% in vergelijking met de jaren '70, maar in absolute hoeveelheden is het nog steeds hoog. Ter vergelijking: bodemverliezen als gevolg van erosie van meer dan 1 ton per ha per jaar worden in veel landen als risicovol ervaren<sup>14</sup>. Daar staat tegenover dat tarra na verwerking van het oogstproduct weer teruggebracht kan worden op de akkerbouwgronden, mits de tarra niet teveel verontreinigingen bevat.



# Biologische landbouw

Er zijn verschillende vormen van niet-gangbare of alternatieve landbouw. Sommige vormen zijn ontstaan uit weerstand tegen de uniformering en massaliteit van gangbare productieketens. Andere vormen zijn gericht op het behoud (of verbeteren) van de natuur en milieu. In veel gevallen heeft biologische landbouw effect op de bodem:

- Het achterwege laten van gewasbeschermingsmiddelen kan een positief effect hebben op het bodemleven<sup>15</sup>.
- Biologische landbouwbodems kunnen meer organische stof bevatten<sup>16</sup> en/of meer biodiversiteit herbergen<sup>17</sup>.
- Door lage fosfaatgiften kan een negatieve fosfaatbalans ontstaan<sup>18</sup>.
- In de biologische landbouw zijn oogsten doorgaans lager dan in de gangbare landbouw. In Nederland is het verschil ongeveer 20%, maar verschillen tussen gewassen zijn groot variërend van 2% voor snijmaïs op kleigrond tot 52% voor aardappelen op kleigrond<sup>19</sup>. Op wereldniveau ligt het productieniveau van de biologische landbouw tussen de 60 en 100% van de gangbare landbouw<sup>20</sup>. De wereldvoedselorganisatie stelt dat onder intensieve productiesystemen, zoals in Nederland, de productie in de biologische landbouw weliswaar lager is dan in de gangbare landbouw, maar dat deze t.o.v. extensieve systemen juist hoger kan zijn<sup>21</sup>.
- In biologische teeltsystemen kan bodemerosie lager zijn dan in gangbare systemen. Dit zou kunnen betekenen dat op wereldniveau de productie in de biologische landbouw per oppervlakte-eenheid vergelijkbaar is met de opbrengst in de gangbare landbouw, indien gecorrigeerd wordt voor het verlies aan landbouwgrond door erosie in de gangbare landbouw. Dit soort vergelijkingen zijn echter moeilijk te maken, omdat systeemgrenzen verschillend zijn<sup>22</sup>, en voortsnog zijn de voorbeelden anekdotisch of zeer grofschalig.
- In gebieden waar de bodem verontreinigd is met dioxines kan het dioxinegehalte in biologische eieren hoger zijn dan in niet-biologische eieren, omdat de hennen in de biologische landbouw buiten lopen en in de grond pikken. Het is wrang dat op deze manier juist de biologische landbouw wordt getroffen door bodemverontreiniging<sup>23</sup>.

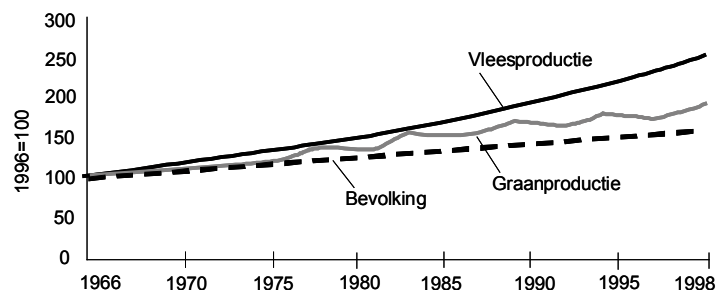


## De strijd om de ruimte

Landbouwgronden worden niet alleen gebruikt voor de productie van voedsel, maar ook voor brandstoffen en grondstoffen. De conflicterende ruimteclaims van deze sectoren worden ook wel aangeduid met het 'food-fuel-fibre' dilemma. Om de groeiende vraag naar deze producten te realiseren is het mondiale landbouwareaal ontoereikend:

- Door welvaartsstijging en bevolkingsgroei neemt naar verwachting de komende 20 jaar de wereldwijde vraag naar voedsel met ongeveer 45% toe, de vraag naar vezels met 25% en de vraag naar energie met 300%<sup>24,25</sup>. Dit komt niet alleen door een groeiende wereldbevolking, maar nog veel meer door een veranderend consumptiepatroon van een koolhydraatrijk dieet naar een eiwitrijk dieet<sup>26</sup>.
- Door de wereldwijde handel hebben beslissingen in het ene land consequenties voor het andere. Een voorbeeld hiervan is de verplichte bijmenging van biodiesel in de Verenigde Staten als gevolg van klimaatverandering en energieschaarste. De Verenigde Staten hebben zich toen te weinig gerealiseerd dat productie van biomassa een mondiale aangelegenheid is en dat deze verplichting wereldwijd consequenties zou hebben.
- Door klimaatverandering kunnen agro-ecologische zones verschuiven en veranderen. Scenariostudies voorspellen een stijging van de productie van graan, aardappelen en grasland in Noord-West Europa en een daling van landbouwproductie in Zuid- en Oost-Europa, waar meer droogte verwacht wordt<sup>27</sup>.
- De vraag naar energie en de wens om minder fossiele brandstoffen te gebruiken hebben de vraag naar bio-energie enorm doen stijgen. In de EU is tussen 1990 en 2000 de energiewinning uit biomassa met 800% toegenomen tot ongeveer 4% van de totale energieproductie<sup>28</sup>.

Door bovengenoemde factoren zal er de komende jaren steeds meer van de bodem gevraagd worden. Naar verwachting zal de landbouw vooral intensiveren waardoor de bodem intensiever gebruikt wordt en er meer hulpmiddelen aan de bodem (moeten) worden toegevoegd. Een kleiner deel van de productiestijging zal gerealiseerd worden op 'nieuwe' gronden. Echter, de beste gronden zijn reeds in gebruik en verdere ontginning zal vooral leiden tot ingebruikneming van zogenoemde marginale gronden<sup>29</sup>. En dit zijn niet voor niets marginale gronden; deels zijn deze gronden alleen met grote investeringen te gebruiken, deels zijn deze gronden erg gevoelig voor degradatie. Vooral voor deze laatste gronden is goed beheer extra belangrijk.



## Goede landbouwgronden onder druk

Nederland heeft van nature jonge, vruchtbare bodems, en de bodemvruchtbaarheid is nog extra versterkt door de import van nutriënten. In een analyse naar geschikte landbouwgronden in Nederland en Europa werden vruchtbare landbouwgronden gedefinieerd als ‘gronden die geschikt zijn voor landbouw op basis van fysische, chemische en biologische eigenschappen, waarbij het gaat om maximale gewasopbrengst bij minimale belasting van het milieu en minimaal gebruik van hulpmiddelen’. Zo bekeken liggen de meest geschikte landbouwgronden in Nederland vooral in de provincies Zeeland, Flevoland, Groningen, Noord-Friesland en Limburg, en in de droogmakerijen in de kop van Noord-Holland<sup>30</sup>. Oude dorpskernen geven ook vaak aan waar goede gronden liggen, omdat mensen in de buurt van goede landbouwgrond gingen wonen of –als dat niet beschikbaar was– de bodem verbeterden. Esgronden zijn voorbeelden van verbeterde bodems. Door dorpsuitbreidingen gaan juist deze gronden vaak verloren.

Het areaal landbouwgronden neemt in Nederland al decennia af van bijna 2,2 miljoen ha in 2005 tot ongeveer 1,9 miljoen ha in 2040<sup>31</sup>. Er kan veel maatschappelijke onrust ontstaan als ‘harde’ en ‘zachte’ plannen sterk van elkaar verschillen en het toekomstige gebruik van huidige landbouwgronden onduidelijk is. Als gekeken wordt naar de ‘harde’ plannen gaat er de komende jaren ongeveer even veel landbouwgrond verloren aan natuur als aan stedelijke ontwikkeling<sup>32</sup>.



## Gemeenschappelijk landbouwbeleid

Er is veel nationaal en Europees beleid dat direct of indirect de bodem beïnvloedt. Het Gemeenschappelijk Landbouwbeleid (GLB) van de Europese Unie heeft als doel agrarisch ondernemers een redelijke levensstandaard te bieden en de consumenten te voorzien van kwaliteitsvoedsel voor een eerlijke prijs. Het GLB bestaat uit twee pijlers: de marktordening en de plattelandontwikkeling. Het aandeel van de landbouwuitgaven in de begroting van de EU loopt terug, maar is nog altijd 38% van het totaal. Het grootste deel van het budget wordt besteed aan marktordening en de daarmee verbonden subsidies voor de landbouwsector. Producenten van landbouwproducten krijgen voor veel producten gegarandeerde minimumprijzen. Deze subsidies leidden in het verleden tot grote marktverstoringen en overschotten die elders werden gedumpt. De minimumprijzen in de EU zijn inmiddels verlaagd en vervangen door directe subsidies die onafhankelijk zijn van de geproduceerde hoeveelheden, maar wel een bepaalde milieuprestatie verlangen (dit wordt 'cross compliance' genoemd)<sup>33</sup>.

Binnen dit kader passen de groene en blauwe diensten, maar ook de in ontwikkeling zijnde bodemdiensten als instrument om milieuprestaties inzichtelijk te maken. Bodemdiensten zijn diensten die agrariërs kunnen leveren om bepaalde bodemwaarden te behouden of te beschermen. Zo kunnen boeren door minder diep te ploegen of door het telen van gewassen die minder diep wortelen bijdragen aan het behoud van archeologische waarden in de bodem. Door het leveren van bodemdiensten kunnen opbrengsten dalen. Er wordt op dit moment gewerkt aan een methode om boeren te motiveren tot het leveren van bodemdiensten, en te compenseren voor eventuele inkomstenderving<sup>34</sup>.





# Groen en landgebruik

Het thema 'groen en landgebruik' gaat over het creëren en/of in stand houden van een prettige leefomgeving, waarbij landbouw, recreatie en natuur in samenhang zijn en elk voldoende ruimte krijgen. In het dichtbevolkte Nederland vraagt dit om een doordachte afstemming van verschillende landgebruiksvormen. De bodem zou hier een leidraad voor kunnen, en misschien wel moeten, zijn. Echter, in de praktijk wordt de bodem vaak als een beperkende factor gezien. In plaats van de bodem als uitgangspunt te nemen, wordt de bodem aangepast en/of verplaatst. In dit hoofdstuk worden een aantal voorbeelden gepresenteerd waarin de bodem bijdraagt aan het realiseren van 'groene' beleidsdoelen.



## Bodem onder het landschap

Historische kaarten van Nederland laten een duidelijke relatie tussen bewoning, landgebruik en de ondergrond zien. Mensen woonden bij voorkeur hoog en droog en in de nabijheid van vruchtbare gronden met een goede watervoorziening. Om deze redenen bevinden de oudste nederzettingen zich aan de randen van de Veluwe en de Utrechtse heuvelrug, op de overgang van het rivierengebied naar het Brabantse zand en op oude stroomruggen en strandwallen in Zuid-Holland.

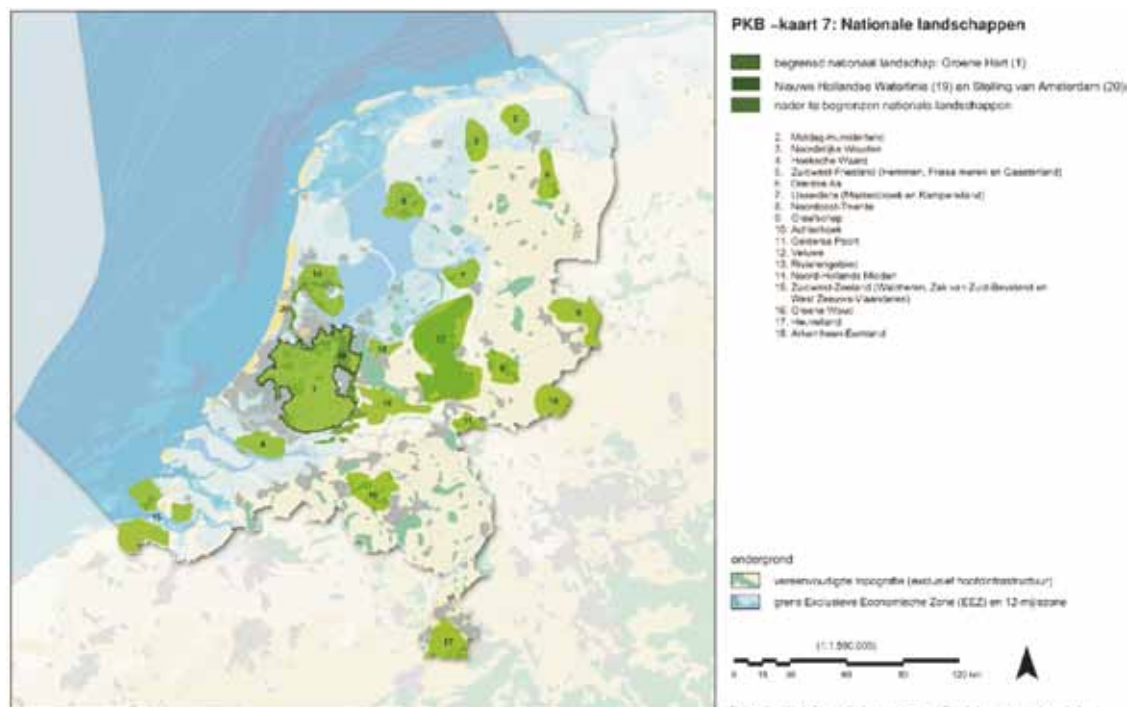
In sommige gevallen werd een gebied geschikt gemaakt, bijv. door terpen en polders aan te leggen. Door ontginning van het Veenkoloniale gebied zijn karakteristieke 'diepen' (vaarten) ontstaan. In het Westelijk Veenweidegebied leidde dezelfde activiteit tot de vorming van ondiepe plassen zoals de Nieuwkoopse en Vinkeveense plassen, waar door harde wind en golfslag de smalle legakkers tussen de uitgegraven kavels werden weggeslagen.



Met de toenemende bevolkingsgroei, de stijgende welvaart na de tweede wereldoorlog en de verbeterde technieken om te bouwen op natte en slappe grond zijn, vooral in West-Nederland, grote veranderingen in het landschap ontstaan. Steden zijn gegroeid op plekken waar men er begin 1900 niet over peinsde en wegen zijn aangelegd op soms bijzonder slappe ondergrond. Tijdens de ruilverkavelingen vanaf begin 20e eeuw zijn veel van de karakteristieke verkavelingspatronen verdwenen. Door betere ontwateringstechnieken en nieuwe landbouwpraktijken was het mogelijk en vaak zelfs wenselijk om de omvang van percelen te vergroten. Bodemkarakteristieken zijn daardoor steeds minder een bepalende factor voor de inrichting van percelen, en het landschap, geworden. Echter, recente voorbeelden zoals de Noord-Zuidlijn (Amsterdam) en verzakkende infrastructuur (Gouda) geven aan dat er grenzen zijn aan de maakbaarheid van de bodem.

## Nationale landschappen

In Nederland zijn 20 Nationale Landschappen die kenmerkend zijn voor de ontstaansgeschiedenis van Nederland en bijzondere landschappelijke eigenschappen hebben. De Nationale Landschappen kenmerken zich door de specifieke samenhang tussen de verschillende onderdelen van het landschap, zoals natuur (flora en fauna), reliëf (bijv. beekdalen en terpen), grondgebruik (bijv. landbouw, waterbeheer) en bebouwing (bijv. dorpsgezichten en forten). In de ontstaansgeschiedenis van deze nationale landschappen was de bodem op verschillende manieren bepalend. Direct, in de vorm van kenmerkende landschapseenheden, zoals het reliëf van oeverwallen en dijken in de Gelderse poort, de kreekruigen in de Hoekse Waard en de IJsseldelta, de pingoruïnes in de Noardlike Fryske Wâlden en de actieve stuifzanden op de Veluwe. Indirect, in de vorm van kenmerkende aanpassingen aan een bodem die van zichzelf niet zo geschikt was voor bewoning of landbouw. Voorbeelden hiervan zijn de terpen in Zuidwest Friesland, de eenmansessen in nationaal landschap Winterswijk en de kenmerkende verkavelingspatronen in Laag-Holland.



## Realisatie Ecologische Hoofdstructuur

In 1991 is begonnen met de realisatie van een ecologische hoofdstructuur (EHS) in Nederland. Het doel van de EHS is om voor 2018 een samenhangend netwerk van natuurgebieden te creëren. Hiervoor zijn natuurdoelen opgesteld en veel van deze natuurdoelen gedijen op een schrale niet te droge bodem. In het kader van de realisatie van de EHS zijn de afgelopen decennia vele hectaren landbouwgrond aangekocht, maar niet alle landbouwgrond is direct geschikt voor nieuwe natuur als gevolg van bemesting. Om de bodem geschikt te maken worden natuurtechnische maatregelen uitgevoerd, zoals afgraven, plaggen en/of hydrologische aanpassingen. Echter, deze maatregelen vormen geen garantie voor succes, soms is er bijvoorbeeld geen basenrijke kwel aanwezig en/of is het gehalte aan zware metalen in de bodem te hoog. Op dit moment loopt meer dan 700 ha van de realisatie van de EHS vertraging op door normoverschrijding van zware metalen gehalten in de bodem<sup>35</sup>.



Onrealistische natuurdoelen voor een natuurgebied of een slechte locatiekeuze in ruimtelijke planvormingsprocessen zijn vaak het gevolg van het onvoldoende rekening houden met de aanwezige fysische, chemische en ecologische bodemeigenschappen en dit kan leiden tot het uitvoeren van ingrijpende maatregelen met risico's voor het verstoren van de belangrijke functies van de bodem. Soms zijn er alternatieven voor afplaggen of graven: in bepaalde gevallen kunnen natuurdoelen ook gehaald worden op oude verrijkte landbouwgronden door uitmijning van (één of meer) nutriënten<sup>36</sup>.

## De bodem als archief: aardkundige waarden

De bodem is een archief van onze geschiedenis, maar door grondverzet kan dit archief verloren gaan. Aardkundige waarden is een verzamelnaam voor sporen van geomorfologische processen zoals getijdenwerking, landijs, stromend water, tektoniek, veenvorming en winderosie- en afzettingen. Aardkundige waarden geven inzicht in de ontstaans-geschiedenis van Nederland, zoals bijv. in het riviereengebied waar de bewoningsassen samenvallen met oude stroom-ruggen of oeverwallen.

Aardkundige waarden, of geomorfologische kenmerken in het landschap, kunnen de identiteit van een gebied versterken. Bij de aanleg van woonwijken is het niet noodzakelijk dat al het reliëf onder een dikke laag zand verdwijnt, zoals meestal wel gebeurt. Een beekdal kan ook een slingerende groene strook of natuurlijk park vormen in een nieuwe wijk. En een dekzandrug kan gebruikt worden om een nieuwe weg door de woonwijk te dragen. Het landschap blijft dan enigszins herkenbaar en enkele karakteristieken blijven behouden. Op deze manier kan het reliëf de voortgaande verstedelijking van Nederland volgens het concept van behoud door ontwikkeling een meerwaarde geven. Twee voorbeelden:

- In het stedenbouwkundige ontwerp van de wijk Saendelft in Assendelft is de aanleg van een bijbehorend groen recreatie-gebied gepland. In dit gebied ligt een kreekkrug, met maximale hoogteverschillen tot 70 centimeter, die de zichtbare sleutel vormt naar het ontstaan van deze plek zo'n 4000 jaar geleden. In de figuur is de herkenbare grillige vorm van de kreekruggen in contrast tot de rechte lijnen van de kavels en infrastructuur. De Werkgroep Aardkundige Waarden Noord-Holland streeft naar behoud van deze reliëfvorm en heeft voorgesteld om een fietspad op de kreekkrug aan te leggen<sup>37</sup>.
- Bij de herstructurering van een woonwijk in Drenthe is rekening gehouden met de helling in het landschap door de wijk trapsgewijs aan te leggen<sup>38</sup>.



## Graag even (af)rekenen

De bodem levert op meerdere manieren diensten, waar de maatschappij voordeel van heeft. Een deel van deze diensten heeft een direct herkenbaar economisch belang, zoals de productiefunctie (van voedselgewassen) en de voorraad winbare grondstoffen (zand, grind, klei en drinkwater) in de bodem. Andere bodemdiensten zijn minder eenvoudig te vertalen naar economische belangen en daarmee worden zij vaak minder belangrijk geacht of zelfs vergeten in ruimtelijke planvormingsprocessen. Het vermogen van de bodem om water en stoffen tijdelijk vast te houden of de bodem als archief van archeologische en aardkundige waarden zijn veel moeilijker te waarderen.

Jaarlijks wordt er ruim 60 euro per persoon besteed aan landschap en natuur<sup>39</sup>. De baten worden hoofdzakelijk bepaald door de opbrengsten via landbouw en de recreatiesector. Echter, als er geen rekening wordt gehouden met (eigenschappen van) de bodem kunnen de kosten oplopen. Enkele voorbeelden hiervan zijn:

- Tien jaar na de aanplant van boomsingels in het Noorderpark bij Utrecht blijkt dat enkele soorten op de verkeerde plek staan om goed te groeien. De in de ondergrond aanwezige uitlopers van de Utrechtse Heuvelrug in het veen leiden tot zeer wisselende groeicondities. Het eventueel vervangen van bomen leidt tot stijgende kosten voor het beheer van het gebied<sup>40</sup>.
- Nieuwbouwwijken op veengronden moeten veel meer aanpassingen ondergaan voor ze bouwrijp zijn en naast deze hogere kosten in aanleg zijn ook de beheer kosten op lange termijn een stuk hoger. Wegen, kabels en leidingen zakken in slappe grond weg, terwijl de onderheide bebouwing blijft staan. Bewoners moeten regelmatig hun tuin ophogen. Voor het aanleggen van het tracé van de provinciale weg tussen Krimpen aan de IJssel en Bergambacht (N210) werd in eerste instantie een bijzonder grote hoeveelheid zand gebruikt. Later is dit stuk weg zelfs helemaal onderheid<sup>41</sup>



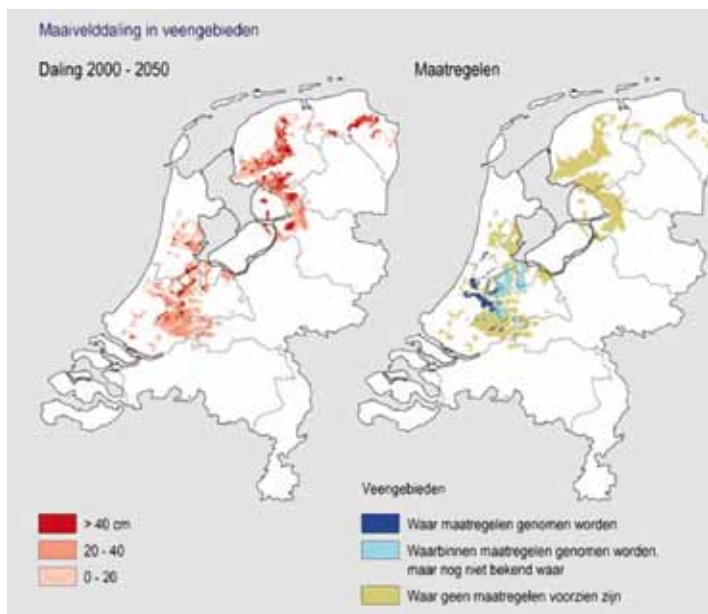
Bodemkundigen zijn zich onvoldoende bewust van het planvormingsproces om op de juiste momenten hun boodschap, in de juiste vorm, naar voren te brengen. Veel planvormers zien de bodem nog te veel als een complicerende factor in het toch al zo complexe planningsproces en nemen hun toevlucht tot 'maakbaarheid' van de bodem d.m.v. technologische oplossingen<sup>42</sup>. Daardoor blijven de kosten die gepaard gaan met de 'maakbaarheid' van de bodem hoog, evenals de kosten voor beheer en onderhoud.

## Pompen of verzuipen: bodemdaling in veenweidegebied

Het veenweidegebied in West-Nederland en Friesland is een uniek gebied, zowel in landschappelijke zin als in cultuur-historische zin. Het veenweidegebied staat echter op veel manieren onder druk. Het meest in het oog springend is de wens tot uitbreiding van steden, zowel in de vorm van woningbouw als van recreatieve voorzieningen. Maar ook het huidige landbouwkundig gebruik zet het gebied onder druk. Ontwatering voor landbouw, infrastructuur en bebouwingen leidt tot maaiveldddaling door krimp en oxidatie van de bovengrond en door klink van de ondergrond. Maaiveldddaling (zakking) in het veenweidegebied kan oplopen tot 2 cm per jaar, waarvan het grootste deel veroorzaakt wordt door zakking van het veen onder het grondwater<sup>43</sup>.

In onderstaande figuur wordt de huidige daling van het veenweidegebied getoond en de locaties waar momenteel maatregelen worden genomen om daling tegen te gaan. Opvallende in deze figuur is dat in gebieden waar de hoogste daling bestaat (Friesland), de minste maatregelen worden genomen. Daar staat tegenover dat in het Westelijk Veenweidegebied de bevolkingsdichtheid veel groter is en de absolute maaiveldhoogte (t.o.v. NAP) lager is dan in Friesland.

In de toekomst zal het veenweidegebied natter worden, ofwel door verdergaande daling van het gebied, ofwel door maatregelen om deze daling tegen te gaan. Hier kan op ingespeeld worden met verschillende inrichtingsmaatregelen uiteenlopend van een nieuwe inrichting met drijvende woningen en sawa-landbouw<sup>44</sup> tot andere koeienrassen die minder bodemdruk geven, waardoor de zakking vermindert<sup>45</sup>. Op dit moment wordt er letterlijk gepolderd in de polder: doordat er geen keuzen worden gemaakt, blijft het veenweidegebied zakken met ongeveer 1 cm per jaar, blijft de waterkwaliteit problematisch en zit de woningbouw op slot<sup>46, 47, 48</sup>.





# Klimaat en energie

Bij klimaatverandering wordt niet zo snel aan de bodem gedacht. Toch speelt de bodem een belangrijke rol: enerzijds biedt de bodem oplossingen in de zin van vastlegging, voorraad en opslag van koolstof. Anderzijds is de bodem een bron van broeikasgassen en draagt in negatieve zin bij aan klimaatverandering. De relatie tussen bodembeheer, klimaat en koolstofvastlegging is bijzonder complex. Er zijn aanwijzingen dat door de stijgende atmosferische CO<sub>2</sub> concentraties de vastlegging van koolstof in de bodem toeneemt als gevolg van een versterkte plantengroei<sup>50</sup>, maar er zijn ook aanwijzingen dat deze toename beperkt wordt door de beschikbaarheid van stikstof<sup>51</sup>. Hoe het ook zij, het staat vast dat bodem en klimaat sterk aan elkaar gekoppeld zijn; klimaat is immers één van de bodemvormende factoren, maar tegelijkertijd beïnvloedt de bodem ook weer het klimaat. In dit hoofdstuk wordt een beknopt overzicht gegeven van een aantal ontwikkelingen op het gebied van bodem, klimaat en energie.



## CO<sub>2</sub> opslag en C vastlegging

In de bodem bevindt zich drie keer zoveel organische koolstof (circa 1500 Gt organisch en 950 Gt anorganisch C) als in de biomassa op land, en twee keer zoveel als in de atmosfeer<sup>52</sup>. Een relatief kleine verandering in de koolstofvoorraad in de bodem heeft dus grote consequenties voor de emissie van broeikasgassen en daarmee speelt de bodem een cruciale rol in klimaatdiscussies. CO<sub>2</sub> uit de atmosfeer kan op twee manieren in de bodem worden opgeslagen. Snel en direct door middel van opslag in de (diepere) ondergrond of via het natuurlijke proces van CO<sub>2</sub>-opname door planten om zo de koolstof vastlegging in de bovengrond te verhogen. CO<sub>2</sub> opslag en koolstofvastlegging zijn dus duidelijk twee verschillende processen.

CO<sub>2</sub>-opslag wordt in Nederland op dit moment alleen op de Noordzee toegepast: onder boorplatform K12B wordt 100 kton CO<sub>2</sub> per jaar opgeslagen. Het is de enige plek ter wereld waar CO<sub>2</sub> wordt opgeslagen op een plaats waar het ook gewonnen wordt<sup>53</sup>. Op het vaste land had alleen de gemeente Barendrecht plannen om CO<sub>2</sub> op te slaan in de bodem, maar veel mensen staan huiverig tegenover CO<sub>2</sub> opslag in de bodem, omdat de gevolgen op lange termijn niet bekend zijn<sup>54</sup>. Om die reden zijn de plannen daarom voorlopig van de baan.

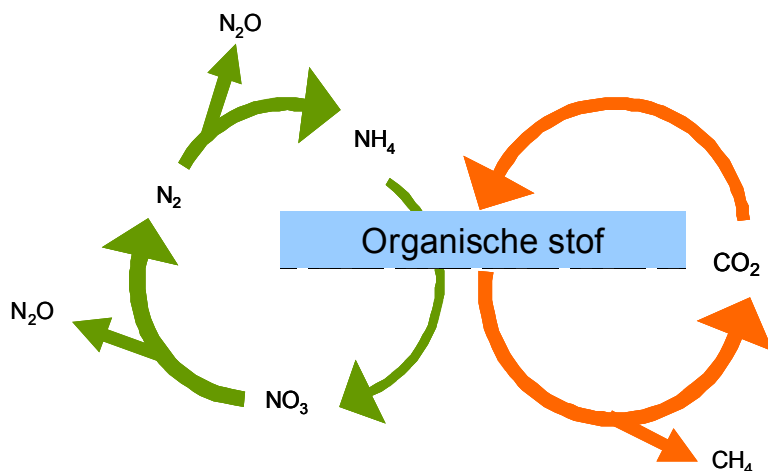


Koolstofvastlegging gebeurt in alle natuurlijke ecosystemen en in de landbouw is ook al lang bekend dat het telen van granen of gras leidt tot meer organische stof in de bovengrond dan bijv. akkerbouw. De huidige, relatief hoge, organische stof gehalten in de bodem in Nederland zijn een afspiegeling van historisch landgebruik en waterbeheer. Door veranderingen in land- en waterbeheer zijn huidige organische stof gehalten in de bodem niet in evenwicht met de huidige situatie en wordt in de toekomst een daling van het organische stof gehalte in de bodem verwacht<sup>55</sup>. Koolstofvastlegging in de bodem lijkt erg aantrekkelijk als maatregel om klimaatverandering tegen te gaan. De Wetenschappelijke raad voor het regeringsbeleid schrijft bijvoorbeeld dat een verhoging van het organische stofgehalte van 2% in de bodem eenzelfde effect teweeg brengt als een reductie van 35% in de uitstoot uit fossiele brandstoffen<sup>56</sup>. Dit is echter makkelijker gezegd dan gedaan; het organische stofgehalte in de bodem is slechts binnen bepaalde grenzen en met veel geduld te beïnvloeden door landgebruik en bodembeheer<sup>57</sup>. Immers, toevoeging van (extra) organische stof aan de bodem leidt tot gedeeltelijke afbraak ervan, waardoor er veel meer organische stof moet worden aangevoerd dan er uiteindelijk vastgelegd wordt. Dit wordt ook wel het bodemkoolstofdilemma genoemd<sup>58</sup>.

## Emissie van overige broeikassen uit de bodem

De bodem speelt niet alleen een rol in de regulatie van CO<sub>2</sub> emissies, maar ook in de emissie van andere broeikasgassen, zoals lachgas (N<sub>2</sub>O) en methaan (CH<sub>4</sub>). Lachgas komt vrij tijdens warme en natte omstandigheden in bodems met veel organische stof en nitraat. Deze omstandigheden komen vaak voor in veenweidepercelen. Methaan wordt geproduceerd door herkauwers (pensfermentatie) en onder zuurstofloze omstandigheden in bijv. sloten. Een potentieel veel grotere bron van methaan bevindt zich in Boreale gebieden onder de permafrost. Door smelten van het permafrost kan deze voorraad vrijkomen. Dit lijkt vooralsnog niet het geval, maar wordt door wetenschappers als een 'tijdbom' gezien die ieder moment af kan gaan<sup>59</sup>.

Landgebruik en bodembeheer hebben veel invloed op de emissie van lachgas uit de bodem. Maatregelen om de lachgasemissie te verlagen zijn vaak gestoeld op een vermindering van de mestgift, inclusief organische stof, terwijl er tegelijkertijd ook maatregelen worden getroffen om de koolstofvastlegging te verhogen. Hier is voorzichtigheid geboden, omdat stikstof- en koolstofkringlopen niet alleen door bodembeheer worden beïnvloed, maar ook door elkaar<sup>60</sup>. Het risico bestaat dat als de CO<sub>2</sub>-emissies afnemen, er meer N<sub>2</sub>O vrijkomt. Om deze reden waarschuwt de FAO voor de gevolgen van intensivering van landbouwsystemen. Dat is weliswaar noodzakelijk en leidt waarschijnlijk tot een reductie van CO<sub>2</sub> emissies per eenheid product, maar de N<sub>2</sub>O emissies kunnen fors toenemen als gevolg van een stijging van het kunstmestgebruik<sup>61</sup>.



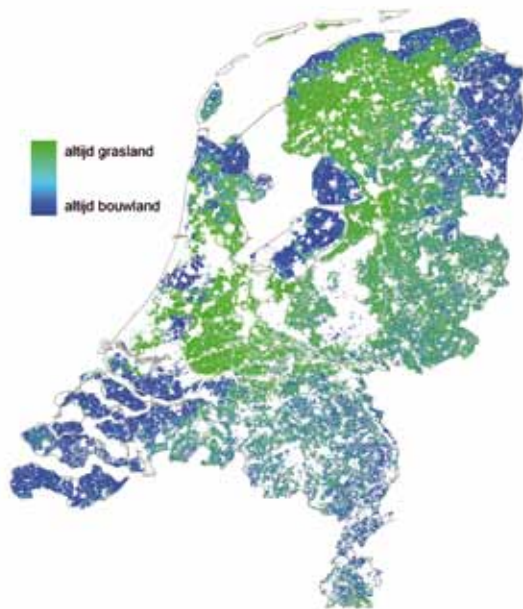
## Veranderend landgebruik en emissies van CO<sub>2</sub>

Op wereldschaal is verandering van landgebruik de op één na belangrijkste bron van antropogene CO<sub>2</sub> emissies<sup>62</sup>. In Nederland is het vrijkomen van CO<sub>2</sub> bij de afbraak van veen de belangrijkste bron van CO<sub>2</sub> uit veranderend landgebruik<sup>63</sup>. Onder grasland of bij de teelt van graan neemt het organische stofgehalte doorgaans toe, terwijl ploegen en oogsten op bouwland leiden tot een afname. Deze afname verloopt over het algemeen sneller dan de toename onder grasland. Het verdwijnen van permanent grasland kan daarmee grote gevolgen hebben voor de koolstofbalans in de bodem.

Het omzetten van grasland in bouwland en vice versa kan onderdeel zijn van een gewasrotatie, maar kan ook het gevolg zijn van veranderende teelten en bedrijfsvoering. Door kavelruil of tijdelijke verhuur kan grasland verschijnen in voorheen typische akkerbouwgebieden en andersom kan (tijdelijk) bouwland voorkomen in regio's waar traditioneel grondgebonden veehouderij voorkomt. Een voorbeeld hiervan is de reizende bollenkraam, waarbij bollenteelt slechts een korte periode op een perceel blijft en dan weer verder trekt. Dit soort tijdelijke veranderingen in landgebruik kunnen grote gevolgen

hebben voor de koolstofvastlegging in de bodem. De CO<sub>2</sub>-emissies worden geschat op 30, 150 en 1250 ton CO<sub>2</sub> eq/ha voor respectievelijk een ruime rotatie (1 jaar bouwland: 6 jaar gras), een nauwe rotatie (3:3) en omzetting van permanent grasland in continu bouwland<sup>64</sup>.

Frequentie van landgebruikverandering tussen 1990 en 2004



De figuur laat landgebruiksveranderingen zien in de periode 1990-2004 op basis van topografische kaarten en landgebruikskaarten van 5 verschillende jaren. Wanneer er geen landgebruiksveranderingen hebben plaatsgevonden is de kleur donkergroen (grasland) of donkerblauw (bouwland). Naarmate het landgebruik vaker is veranderd wordt de kleur lichter. Uit de figuur blijkt dat er op grote schaal landgebruiksveranderingen hebben plaatsgevonden. Alleen in de veengebieden bestaat nog permanent grasland, hoewel ook hier maïs zijn intrede heeft gedaan.

Organische stofgehalten in de bodem reageren over het algemeen traag op landgebruikveranderingen. Of en hoe het organische stofgehalte op nationale schaal verandert kan (nog) niet goed vastgesteld worden<sup>65</sup>.

## Klimaatverandering en bodemgebruik

Met het veranderen van het klimaat, veranderen ook de agro-ecologische zones. Was de introductie van de (wijn)druf in Nederland vooral een kwestie van veredeling en introductie van andere rassen, met het verschuiven van agro-ecologische zones kunnen gewaskeuzen wel degelijk veranderen. De veranderingen in landgebruik als gevolg van klimaatverandering worden naar verwachting het eerst merkbaar in Afrika. Voor dit continent voorspellen scenarioanalyses een toename van sorghum en een afname van maïs en granen<sup>66</sup>. Op Europees niveau worden vooral veranderingen verwacht in Zuid-Europa door een korter groeiseizoen, maar veel effecten zijn nog onzeker. In grote lijnen wordt een hogere productie verwacht in gematigde streken en een afnemende productie in warme gebieden<sup>67</sup>. Echter, tegelijkertijd vinden er marktverschuivingen plaats, waardoor de Nederlandse landbouwsector, eerder dan door klimaatverandering, onder druk komt te staan<sup>68</sup>. De verwachte veranderingen in agro-ecologische zones en in marktpositie leiden tot een verandering van landgebruik, maar het is nog onduidelijk welke consequenties dit heeft voor het gebruik en beheer van de bodem.

Klimaatverandering heeft mogelijk ook op een andere manier effect op het bodemgebruik. Er wordt in diverse fora gesproken over het onbenut potentieel van de bodem als waterbergend medium (bijv. Dag van het maatschappelijk debat, Week van de Bodem). Hierbij wordt de bodem als spons verbeeld, die tijdens perioden van neerslag water opneemt en dit water geleidelijk 'doorgeeft' naar grond- of oppervlaktewater of het landbouwgewas. Het is nog de vraag in hoeverre dit werkelijk een onbenut potentieel is en of de benutting kan worden uitgebreid. Wel is duidelijk dat afdekken van de bodem door bestrating en bebouwing het waterbergend vermogen verlaagt.

Ook de aanbevelingen van de Deltacommissie om Nederland voor te bereiden op klimaatverandering hebben consequenties voor de bodem. Zo heeft het opzetten van het peil in het IJsselmeer gevolgen voor de kwelcondities in grote delen van Nederland. Andere aanbevelingen hebben betrekking op vernatting en uitbreiding van uiterwaarden<sup>69</sup>.



## Bodem en Bio-energie

De vraag naar bio-energie, d.w.z. energie uit biomassa, is de afgelopen jaren explosief gestegen. Op dit moment wordt ruim 2% van het landbouwareaal gebruikt voor energiegewassen en 4,5% van de wereldwijde graanproductie wordt gebruikt om ethanol te maken<sup>70</sup>. In 2020 moet 6% van de energie in Europa opgewekt worden uit biomassa. Een veel groter aandeel is onwenselijk, omdat dit teveel land, water en arbeid zou vragen<sup>71</sup> en zelfs de inzet van het complete landbouwareaal niet genoeg is om in de wereldenergiebehoefte te voorzien<sup>72</sup>.

Conventionele (eerste generatie) biobrandstoffen concurreren met voedselproductie en tijdens de voedselcrisis van 2008 is een algemeen gevoel ontstaan dat het onethisch is om eetbare producten te gebruiken voor energielevering. Ter illustratie, van één tank biodiesel kan een gezin een jaar lang leven<sup>73</sup>. Om aan de nadelen van eerste generatie bio-brandstoffen tegemoet te komen, zijn tweede en derde generaties biobrandstoffen ontwikkeld. Tweede generatie biobrandstoffen zijn niet aan voedsel gerelateerd, maar gebruiken wel grond dat anders voor voedselproductie gebruikt had kunnen worden. Onder de tweede generatie biobrandstoffen vallen wilgen en *Jatropha*, maar ook stro, houtsnippers en oneetbare gedeelten van voedselgewassen. Bij de derde generatie biobrandstoffen wordt gestreefd naar een bodemloze productie, bijv. met behulp van algen. Deze vorm van bio-energie is nog in de onderzoeksfase.



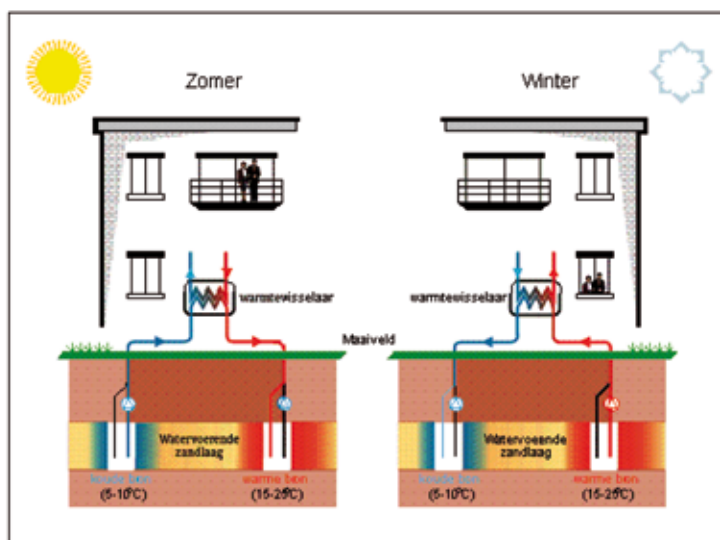
In 2003 heeft de EU de 'biofuel strategie' aangenomen om het gebruik van bio-energie te stimuleren en om competitie met voedselgewassen te voorkomen. Hiertoe wordt er subsidie verleend indien energiegewassen worden verbouwd op gedegradeerde en/of verontreinigde gronden<sup>74</sup>. Echter, reeds bestaande voorbeelden van energie-gewassen op verontreinigde gronden geven aan dat de opname van deze verontreinigingen laag is<sup>75</sup> en dat de verontreinigingen bovendien weer in omloop komen.

Er is weinig bekend over de effecten van het verbouwen van energie-gewassen op de bodem. Er worden andere gewassen geteeld, die vervolgens in z'n geheel worden geoogst. Dit leidt tot een daling van de toevoer van organische stof naar de bodem. Daarnaast is er zorg over een hoger gebruik van meststoffen en gewasbeschermingsmiddelen<sup>76</sup>. In hoeverre er ook werkelijk meer meststoffen en gewasbeschermingsmiddelen in de bodem en het milieu terecht komen is niet bekend.

## De diepere ondergrond: opslag en bron van energie

Door warmte-koude opslag (WKO) kan warmte die 's zomer in de bodem wordt opgeslagen, 's winters weer worden gebruikt. Op dit moment wordt op circa 600 locaties in Nederland WKO gebruikt. WKO is echter niet overal toepasbaar: zo moet vooral de watervoerende zandlaag stabiel zijn en zijn er grenzen aan het chloridegehalte. WKO is uit kosten-overwegingen vooral interessant bij hoge bebouwingsdichtheden, bijv. glastuinbouwcomplexen en bedrijventerreinen. Momenteel is er nog geen of nauwelijks regelgeving met betrekking tot ruimteclaims in de ondergrond, terwijl verschillende systemen elkaar sterk kunnen beïnvloeden. In de nieuwe Wet Ruimtelijke Ondergrond zijn voor het eerst richtlijnen voor het gebruik van de ondergrond opgenomen, maar er is nog veel onzekerheid over mogelijke gevolgen voor (verontreinigde) grondwaterstromen en risico's a.g.v. het doorbreken ('lek prikken') van bodemlagen.

Nog veel dieper in de bodem bruist het van de energie. In sommige landen is aardwarmte zichtbaar, in de vorm van vulkanen en geisers, maar ook in Nederland is het grondwater op een diepte van 500 meter warm genoeg om in te zetten als verwarming. Aardwarmte wordt nog zeer beperkt ingezet, o.a. in de glastuinbouw, maar naar verwachting neemt in de toekomst het gebruik van aardwarmte als bron van energie toe<sup>77</sup>.





# Natuurlijke hulpbronnen

Natuurlijke hulpbronnen zijn inputs voor een bepaald economisch productieproces die geleverd worden door onze omgeving. De bodem zelf is een natuurlijke hulpbron voor voedsel, maar er kan ook naar de afzonderlijke hulpbronnen in de bodem gekeken worden, zoals nutriënten, water, biodiversiteit en genen. De bodem is als het ware de opslagplaats ('schatkamer') voor deze hulpbronnen. De bodem voorziet ook in allerlei stoffen, waarvan we allang vergeten zijn dat ze eigenlijk uit de bodem komen, zoals anti-biotica<sup>78</sup>, amino-zuren, cellulose in plastics, isolatiemateriaal en microben in zuiveringsprocessen. De bodem is ook een belangrijke genetische bron, die bijvoorbeeld gebruikt wordt voor de productie van geneesmiddelen. Genetische bronnen zijn onderdeel van de totale biologische diversiteit en de beste garantie voor het behoud van de variatie aan micro-organismen, planten en dieren is het behoud van hun natuurlijke omgeving. In dit hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van de natuurlijke hulpbronnen die zich in de bodem bevinden, hoe deze gebruikt (kunnen) worden en hoe deze bedreigd worden.



## Het einde van de fosfaatvoorraad

Fosfaat is essentieel voor gewasgroei en wordt op grote schaal ingevoerd en toegediend aan (landbouw)gewassen. Fosfaat wordt gewonnen in fosfaatmijnen in Afrika, de Verenigde Staten en China. Recente schattingen geven aan dat in 2050 de helft van de fosfaatvoorraad is verbruikt en dat over 100 jaar de voorraad is uitgeput<sup>79</sup>. De uitputting van de fosfaatvoorraad uit zich reeds in de kwaliteit van de ruwe fosfaat. Tot nu toe werd vooral de goede (d.w.z. met weinig cadmium) en makkelijk toegankbare fosfaat gewonnen. Deze mijnen raken als eerste uitgeput. Wat volgt zijn moeilijke toegankelijke fosfaatmijnen en/of vervuilde mijnen. Hierdoor zullen de prijzen stijgen en mogelijk ook de cadmium-verontreiniging.

Paradoxaal genoeg kampt Nederland met een fosfaatoverschot in de bodem. Dit overschot leidt in landbouwgebieden tot uitspoeling van fosfaat naar grond- en oppervlaktewater en in natuurgebieden tot het niet halen van natuurdoelen. In nieuw aan te leggen natuurgebieden wordt vaak gekozen voor afgraven van de fosfaatrijke bovengrond en deze bijvoorbeeld in geluidswallen te gebruiken. Een alternatief voor afgraven is uitmijnen van de bodem en het maaisel te composteren tot meststof. Dit duurt weliswaar langer, maar hiermee komt fosfaat weer in de kringloop. Technisch gezien is het ook mogelijk om de fosfaat te extraheren uit de bodem, maar vanwege de zeer hoge kosten is dit niet realistisch.

deVerdieping  
**Trouw**  
woensdag 3 september 2008  
66ste jaargang nr. 19571  
www.trouw.nl

• Voorraad meststof slinkt door verspilling en snelgroeiende voedselproductie

## Voedselcrisis door fosfaattekort

Er dreigt een tekort aan fosfaat. Bij de huidige verspilling is het over enkele decennia niet meer mogelijk de wereldbevolking te voeden.

**Van onze redactie wetenschap**

De voedselproductie in de wereld komt in het geding door een toenemend gebruik van fosfaat. De moderne landbouw drijft op het gebruik van kunstmest. Fosfaat is daarvan een essentieel onderdeel.

De wetenschappers waarschuwen dat de voorraad fosfaat dreigt op te raken. Zonder deze voedingsstof groeien gewassen niet, en er is ook geen alternatief voor fosfaat. Volgens landbouwkundige Bert Smit van de Universiteit Wageningen ontstaat het tekort doordat er geen kringloop is in het fosfaatgebruik. Het wordt bijvoorbeeld als kunstmest gebruikt in Marokko, vervolgens als kunstmest ingezet op sojaplantages in Brazilië waarna vrakken in Nederland het als mest uitstoeien. Smit: „Op die manier

hoop ik de mest zich op plaatsen op waar het niet nodig is, waarna het wegpoeit naar zee.“ Jaarlijks verduwen zo tienduizenden miljoenen ton fosfaat naar de oceanenbodem.

De geschutte wereldvoorraad, zo'n 40 miljard ton, lijkt genoeg voor de komende eeuw, maar de vraag stijgt enorm. Zeker nu ook de biobrandstoffen aan de voorraadafgaaf knagen. „Als de Amerikanen de helft van hun transport willen realiseren met diesel uit algen, hebben ze minimaal 20 procent van de wereldfosfaatproductie nodig“, zegt Smit.

Hij ziet de oplossing in het herstel van de fosfaatkringloop. „In de zeventiende eeuw hadden steden een mestoverschot en kwamen boeren levendige stromtandelen. Nij wilt daarom dat we menselijke en dierlijke feces niet meer laten via het riool of uitstorten over het land, maar apart verzamelen tot compost. Harry ALZING van het Instituut voor Milieuvraagstukken van de Vrije Universiteit verwacht daar niet veel van. „Recycling kost veel te veel energie.“ Het probleem is volgens hem dat we zoveel verspillen. De helft van de gebruikte mest bereikt de plaats helemaal niet, en daarnaast verliezen we veel grondstoffen doordat we vlees eten. Alkings: „Voor één kilo dierlijk eiwit is zes kilo plantaardig eiwit nodig. Wij vlees eet, gooit 65 procent van de beschikbare eiwitten weg. En verspilt dus ook 65 procent van de grondstoffen zoals fosfaat.“

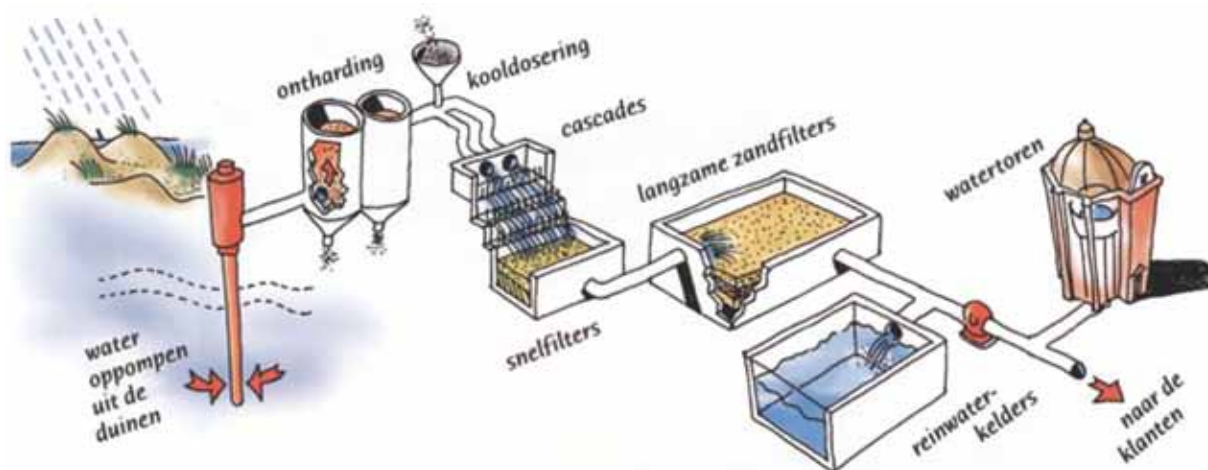
**DE VERDIEPING**  
Waar zit het probleem met fosfaat?

**Abdul Aziz wil graag**

## Bodem en waterkwaliteit

Het realiseren van de doelstelling van de Kaderrichtlijn Water (KRW) is één van de belangrijkste milieuthema's van dit moment. Een goede waterkwaliteit kan niet los kan worden gezien van goed bodembeheer<sup>42</sup>, maar desalniettemin zijn de bodem- en waterwereld twee vrij gescheiden werelden. Dit heeft o.a. te maken met waterschappen die tot voor kort alleen verantwoordelijk waren voor het oppervlaktewater en bijvoorbeeld niet voor het grondwater in de percelen die afwateren op dit oppervlaktewater. Op dit moment zijn diffuse verontreinigingen van zware metalen, gewasbeschermingsmiddelen en nutriënten (N en P) het grootste struikelblok bij het realiseren van de KRW<sup>80</sup>. Deze verontreinigingen komen in het water door oppervlakkige afspoeling, ondiepe uitspoeling en/of diepe uitspoeling. Bij elke transportroute heeft de bodem een andere invloed op de verontreiniging. Bij fosfaatverzadigde gronden bijvoorbeeld is het mogelijk dat bij diepe uitspoeling het opgeloste fosfaat alsnog wordt geadsorbeerd door de bodem als het in diepere, niet fosfaatverzadigde, lagen komt<sup>81</sup>.

Ook voor schoon drinkwater vervult de bodem een belangrijke rol. De bodem zuivert het infiltrerende water in bijv. de 'waterleiding duinen' in Noord-Holland. In Oost-Nederland zijn verschillende pompstations gesloten omdat er teveel nitraat in het grondwater aanwezig is.



## Bodemverontreiniging

De bodem breekt veel verontreinigingen in meer of mindere mate af, maar kan verontreinigingen ook vasthouden (adsorptie) of doorgeven (desorptie). Op dit moment telt Nederland ongeveer 400.000 locaties die mogelijk ernstig verontreinigd zijn, en ongeveer 56.000 locaties met risico's voor de volksgezondheid. Het beleidsdoel is om de laatste locaties te saneren voor 2030. De figuur toont de dichtheid van ernstig verontreinigde locaties in 2006. De dichtheid van verontreinigingen neemt toe van licht naar donker<sup>82</sup>.

In het landelijk gebied speelt vooral de oplading van de bodem met, en uitspoeling van gewasbeschermingsmiddelen, zware metalen en nutriënten. Ondanks verschillende maatregelen is de huidige belasting van koper in de bodem nog altijd circa 10 keer hoger dan de uitspoeling en wordt de bodem nog steeds opgeladen, waardoor de uitspoeling blijft toenemen<sup>83</sup>.



Nederland heeft een uitgebreid normenbouwhuis. Deze normen zijn echter niet altijd op elkaar afgestemd, omdat ze niet hetzelfde doel beogen. Voorbeelden daarvan zijn de toelaatbare gehalten zware metalen in veevoer, bodem, grond- en oppervlaktewater. Hoewel de gehalten zware metalen in veevoer en mest geen normen overschrijden, leidt het aanwenden van diezelfde mest wel tot accumulatie van deze metalen in de bodem en uiteindelijk tot uitspoeling naar het oppervlaktewater.

## Bodemdegradatie en de Europese bodemstrategie

In 2006 is de Europese Bodemstrategie voor bodembescherming geaccepteerd door het Europese parlement met de bedoeling dat de strategie uiteindelijk zal leiden tot een Kaderrichtlijn Bodem. Een bodemrichtlijn stelt lidstaten verplicht om prioritaire gebieden aan te wijzen waar bodemdegradatie optreedt en actieplannen op te stellen om deze degradatie tegen te gaan. De Europese bodemstrategie, en dus ook de richtlijn, richt zich op compactie, verzouting, erosie, landverschuivingen, afname van het organische stof gehalte, verzuring, vervuiling, afdekking en biodiversiteit. Voor Nederland zijn vooral de bedreigingen compactie, afdekking, erosie en afname van organische stof relevant. Verzouting richt zich in de strategie op zoute gronden zoals die voorkomen in Hongarije en niet op infiltratie van zoute kwel, waar Nederland mee te maken heeft. Op het gebied van biodiversiteit in de bodem is nog veel onderzoek nodig en is nog geen uitspraak mogelijk over relevantie.

In december 2007 heeft een blokkerende minderheid van Nederland, Frankrijk, Duitsland, Oostenrijk en het Verenigd Koninkrijk tegen een Kaderrichtlijn Bodem gestemd. Het Nederlandse standpunt was dat bodembeleid een nationale aangelegenheid is en beriep zich daarmee op het subsidiariteitsbeginsel dat zegt dat beleid op de laagst mogelijke beslissingsbevoegde niveau moet worden uitgevoerd. Een ander argument was dat Nederland reeds veel bodembeleid kent. Dit geldt echter vooral voor bodemverontreiniging en veel minder voor andere vormen van bodemdegradatie<sup>84</sup>.

Een argument voor een Europese bodemstrategie heeft betrekking op gelijke handels-posities (dit wordt ook wel 'level playing field' genoemd). Immers op een concurrerende markt leidt onduurzame productie tot een (tijdelijke) stijging van de omzet. De Europese Kaderrichtlijn Bodem beoogt alle EU landen gelijke toegang tot de markt door tot een gelijkwaardige bescherming van de bodem te komen. Echter, door verschillen in natuurlijke omstandigheden, land- en bodemgebruik en historische ontwikkelingen zijn de methoden voor risico-inschatting voor bodemdegradatie in Europa momenteel niet consistent<sup>85</sup>.



## De mondiale potstal

In een potstalsysteem worden voedingsstoffen uit een groot gebied geconcentreerd op een kleiner gebied om zodoende de opbrengst in het kleine gebied te vergroten. De term potstalsysteem stamt uit de late Middeleeuwen en verwijst naar een systeem waarbij mest werd vermengd met heideplaggen. Het mengsel werd vervolgens op akkers gebracht. Door deze techniek werden weide- en heidegronden steeds armer aan voedingsstoffen en akkers steeds rijker. Door deze herverdeling van nutriënten zijn uiteindelijk de voor landbouw onbruikbare stuifzanden ontstaan, die nu weliswaar als recreatie-gebied worden gewaardeerd, maar eigenlijk als ultieme consequentie van bodemdegradatie kunnen worden gezien.

Tegenwoordig gebeurt precies hetzelfde op mondiaal niveau. De consequenties elders zijn geen stuifzanden, maar oprukkende verwoestijning. Nederland, en andere Westerse landen, is hierbij de mondiale potstal. Door import van nutriënten vanuit het buitenland via bijv. veevoeding (soja, maïs) en (fosfaat)kunstmest worden de bodems van West-Europa en Noord-Amerika steeds rijker en die van Afrika en Zuid-Amerika steeds armer. Hierdoor ontstaan 'onduurzaamheidsspiralen': in de arme spiraal wordt door uitputting de bodem steeds minder productief en in een rijke spiraal wordt door over inzet van hulpmiddelen bodemfuncties aangetast<sup>86</sup>.



Het gebruik van bodems buiten de eigen landsgrenzen brengt ook een zekere verantwoordelijkheid met zich mee voor het beheer ervan. De eerste tekenen dat dit besef groeit bewijzen recente convenanten van o.a. Etos en Albert Heijn die hebben aangegeven van 2015 nog enkel duurzaam geproduceerde palmolie te gebruiken. Het duurzaam produceren van palmolie heeft alles met zorgvuldig bodembeheer te maken, omdat palmolieplantages vaak op gronden worden aangelegd die bij ontginning snel verzuren (zgn. katterklei).

## Biologische bodemkwaliteit

De bodem zit vol leven en bodem micro-organismen vormen het grootste reservoir van biologische diversiteit ter wereld en zijn cruciaal voor het functioneren van terrestrische ecosystemen. Doordat bodem zowel in ruimte, diepte als in tijd zeer divers is bestaat er een grote biodiversiteit in de bodem. Het grootste deel van de biodiversiteit is echter nog onbekend, maar wel is duidelijk dat biologische bodemkwaliteit een rol speelt in tal van onderwerpen: van weidevogelbeleid tot emissies van broeikasgassen.

Als vuistregel kan gehanteerd worden dat in elk hectare het gewicht van 7 koeien aan bodemleven aanwezig is. Regenwormen kunnen 2 tot 250 ton grond per hectare per jaar verwerken en zetten daarbij de gehele bovenste 10 cm om in een periode van 10 tot 20 jaar<sup>87</sup>. Onder optimale omstandigheden ondersteunt bodemleven de landbouwkundige productie en is de bodem goed doorlaatbaar en bewortelbaar. Echter, tal van handelingen leiden tot verstoring van het natuurlijk leefmilieu, zoals:

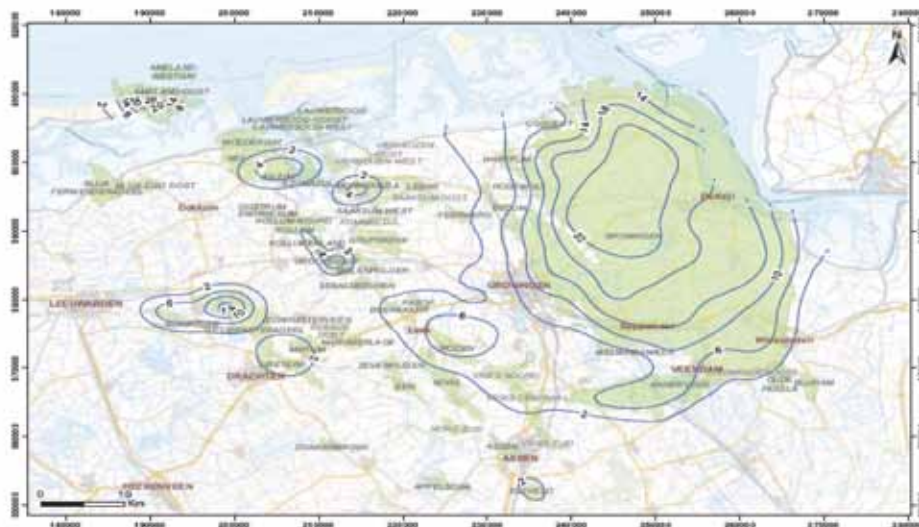
- Monocultures zorgen voor een sterk dalende biodiversiteit bovengronds met negatieve effecten voor de ondergrondse biodiversiteit.
- Gewasbeschermingsmiddelen zijn veelal bedoeld om schadelijke bodemorganismen uit te schakelen, maar hebben ook effect op gewenst bodemleven. Bij de toelating van gewasbeschermingsmiddelen speelt de toxiciteit voor bijv. regenwormen een belangrijk rol.
- Door compactie/verdichting wordt de bodem ondoordringbaar voor veel bodemleven. Tegelijkertijd bepaalt het bodemleven ook de herstelcapaciteit van de bodem: door bodemleven kan een verdichte grond weer losser worden gemaakt
- Door afdekking (bestrating) wordt de aanvoer van organische stof, zuurstof en vocht sterk of geheel beperkt. De huidige 'afdekkingssnelheid' bedraagt circa 29 hectare per dag<sup>88</sup>. Dit is hoog in vergelijking met andere Europese landen.
- Door veredeling kunnen gewassen efficiënter worden verbouwd en geoogst. Echter, rassen die resistent zijn tegen schadelijke schimmels en bacteriën, kunnen soms ook minder goed gekoloniseerd worden door nuttige schimmels en/of bacteriën<sup>89</sup>.



## De bodem als derde dimensie

De ondergrond van de bodem wordt ook wel het 'Wilde Westen' van de Ruimtelijke Ordening genoemd. En dat is niet zonder reden: er bestaan nog nauwelijks regels voor de verdeling van de ruimte in de ondergrond. En dat terwijl er steeds meer aanspraak op wordt gemaakt: parkeergarages, gasleidingen, hoge snelheidslijnen, metro's, allemaal vinden ze een plaats in de ondergrond. Maar ook opslag, zoals warmte-koude opslag vindt plaats in de ondergrond en nog die andere soort opslag, die van stoffen waar we eigenlijk van af willen. De opslag van CO<sub>2</sub> is al genoemd, maar de bodem wordt ook gezien als mogelijke opslagplaats van kernafval door de commissie onderzoek radio-actief afval. Regionale en provinciale groeperingen verzetten zich hiertegen (bijv. de ROTOO, Regionaal Overleg Tegen Ondergrondse Opslag in Twente). Zij beroepen zich op het instortingsgevaar, wat niet geheel ondenkbaar is gezien de net-afgewende instorting van een Duitse opslagplaats in 2000.

Er worden niet alleen overtollige stoffen in de bodem opgeslagen, er worden ook stoffen uitgehaald zoals de zoutwinning bij Delden en de gaswinning in Groningen. Door gaswinning kan de bodem dalen. In 2005 concludeerde de NAM dat de bodemdaling als gevolg van gaswinning in 2050 een maximale waarde van 38 tot 48 cm zal bereiken. Tot nu toe lijkt de schade voor natuur- en milieu in de Waddenzee mee te vallen en is de schade door visserij vele malen groter<sup>90</sup>. De door de NAM geproduceerde contourkaart geeft de bodemdaling (in cm) door gaswinning tussen 1964 en 2003 weer.



# Geraadpleegde literatuur

1. Bokhorst, J. (2006) *Bodem onder het landschap*. Uitgeverij Roodbont.
2. Ramakrishnan, U. (2002) *Prevalence of micronutrient malnutrition worldwide*. Nutrition Reviews, 60(5):S46-S52.
3. Prasad, A.S. (1998) *Zinc in human health: An update*. Journal of Trace Elements in Experimental Medicine, 11(2-3):63-87.
4. Muskiet, F.A.J. (2005) *Evolutionaire geneeskunde; U bent wat u eet, maar u moet weer worden wat u at*. Ned Tijdschr Klin Chem Labgeneesk, 30:163-184.
5. Pronk, M. (2007) *Functionele voedingsmiddelen en voedings-supplementen: inventarisatie van wetgeving en richtlijnen ten aanzien van claims en veiligheid*, RIVM, rapport 350610001.
6. LNV (2008) *Kamervragen over mestinjecties*, rapport Brief no DL/2008/1183.
7. Rietra, R.P.J. (2007) *Achteruitgang van nutriëntgehalten in voedselgewassen door een verminderde bodemkwaliteit?*, Alterra, rapport 1439.
8. [www.abdk.nl](http://www.abdk.nl)
9. (2008) *Opinion of the Scientific Panel on Contaminants in the Food chain on a request from the European Commission to perform a scientific risk assessment on nitrate in vegetables*. The EFSA Journal, 689:1-79.
10. Lahr, J. (2008) *Nieuwe verontreinigingen in de bodem. Een verkennende literatuurstudie naar de mogelijke risico's van hormoonverstoorders en diergeneesmiddelen*, Alterra, rapport 1619.
11. Ruysschaert, G., J. Poesen, K. Auerswald, G. Verstraeten en G. Govers (2007) *Soil losses due to potato harvesting at the regional scale in Belgium*. Soil Use and Management, 23:156-161.
12. Ruysschaert, G., J. Poesen, A. Wauters, G. Govers en G. Verstraeten (2007) *Factors controlling soil loss during sugar beet harvesting at the field plot scale in Belgium*. European Journal of Soil Science, (58):1400-1409.
13. Suikerunie (2007) *Duurzaamheidsverslag 2007*, rapport
14. Huber, S., G. Prokop, D. Arrouays, G. Banko, A. Bispo, R.J.A. Jones, M. Kibblewhite, W. Lexer, A. Möller, J. Rискson, T. Shishkov, M. Stephens, J. van den Akker, G. Varallyay en F. Verheijen (2007) *Indicators and Criteria report*. ENVASSO project (contract 022713) coordinated by Cranfield University, UK, for Scientific Support to Policy, European Commission 6th Framework Research Programme, rapport.
15. McLaughlin, A. en P. Mineau (1995) *The impact of agricultural practices on biodiversity*. Agriculture Ecosystems & Environment, 55(3):201-212.
16. Wander, M.M., S.J. Traina, B.R. Stinner en S.E. Peters (1994) *Organic and conventional management effects on biologically active soil organic matter pools*. Soil Science Society of America Journal, 58(4):1130-1139.
17. Birkhofer, K., T.M. Bezemer, J. Bloem, M. Bonkowski, S. Christensen, D. Dubois, F. Ekelund, A. Fliessbach, L. Gunst, K. Hedlund, P. Mader, J. Mikola, C. Robin, H. Setälä, F. Tatin-Froux, W.H. Van der Putten en S. Scheu (2008) *Long-term organic farming fosters below and aboveground biota: Implications for soil quality, biological control and productivity*. Soil Biology & Biochemistry, 40(9):2297-2308.
18. Mader, P., A. Fliessbach, D. Dubois, L. Gunst, P. Fried en U. Niggli (2002) *Soil fertility and biodiversity in organic farming*. Science, 296(5573):1694-1697.
19. Spruijt, J., H.B. Schoorlemmer, S.C. van Woerden, G. Peppelman, M. de Visser en I. Vermeij (2004) *Duurzaamheid van de biologische landbouw : prestaties op milieu, dierenwelzijn en arbeidsomstandigheden*, Praktijkonderzoek Plant en Omgeving (PPO), rapport 328.
20. Badgley, C., J. Moghtader, E. Quintero, E. Zakem, M. Jahi Chappell, K. Avilés-Vázquez, A. Samulon en I. Perfecto (2007) *Organic agriculture and the global food supply*. Renewable Agriculture and Food Systems 22:86-108.
21. FAO (2007) *International Conference on Organic Agriculture and Food Security*, rapport.
22. Kristiansen, P., A. Taji en J. Reganold (2006) *Organic agriculture: a global perspective.*, Armidale, Australia, Uitgeverij CABI.
23. Kijlstra, A., W. Traag en L. Hoogenboom (2008) *Beheersing dioxines in eieren van leghennen met buitenloop.*, Animal Sciences Group, Wageningen UR, rapport 123.
24. Rosegrant, M., M. Paisner, S. Meijer en J. Witcover (2001) *2020 Global Food Outlook; trends, alternatives and choices*, International Food Policy Research Institute, rapport
25. Alexandratos, N. (1999) *World food and agriculture: Outlook*

- for the medium and longer term. PNAS, 96:5908-5914.
26. Keyzer, M.A., M.D. Merbis, P. I.F.P.W en C.F.A. van Wesenbeeck (2005) *Diet shifts towards meat and the effects on cereal use: can we feed the animals in 2030?* Ecological Economics, 55:187-202.
  27. Olesen, J.E. en M. Bindi (2002) *Consequences of climate change for European agricultural productivity, land use and policy.* European Journal of Agronomy, 16(4):239-262.
  28. Faaij, A.P.C. (2006) *Bio-energy in Europe: changing technology choices.* Energy Policy, 34(3):322-342.
  29. Lal, R. (2008) *Waar ons voedsel vandaan komt.* National Geographic, 9.
  30. Hack-ten Broeke, M.J.D., R.P.J.J. Rietra, P.F.A.M. Romkens en F. de Vries (2008) *Geschiede of vruchtbare landbouwgronden in Nederland en Europa: Een overzicht en synthese van bestaande informatie,* Alterra, rapport 1693.
  31. MNP (2007) *Nederland Later: tweede duurzaamheidsverkenning, deel fysieke leefomgeving Nederland,* MNP, rapport 500127001/2007.
  32. DLG (2008) *persoonlijke mededeling.*
  33. LNV (2008) *Waarden van de Landbouw,* SER, rapport
  34. Schreuder, R., M. van Leeuwen en M. van Amersfoort (2008) *BO-Bodemdiensten pilot Schokland. Een methodiek voor maatwerk bij vergoedingen,* PPO, rapport 3250122308.
  35. Jong, J.d. (2009) *persoonlijke mededeling.*
  36. Chardon, W., F. Sival, R. Kemmers, B. van Delft en G.F. Koopmans (2009) *Is het mogelijk om met uitmijnen in plaats van ontronden voldoende fosfaat kwijt te raken? De levende natuur,* 110(1):39-42.
  37. [www.aardkunde.nl](http://www.aardkunde.nl)
  38. Provincie Drenthe (2008) *Grounds for Change: Typisch Vries in Drenthe "de ruggen op, de beken uit?"* rapport.
  39. LNV (2006) *Natuur en landschap op waarde geschat,* LNV, rapport
  40. Smit, A., K. Zwart en D. Brunt (2008) *Duurzaamheidsanalyse van bodemgebruik ten behoeve van recreatieve voorzieningen in het landelijk gebied,* Alterra, rapport 1730.
  41. [www.n210.nu](http://www.n210.nu)
  42. Smit, A. en K. Zwart (2008) *Dia-bolo: Duurzaam bodemgebruik. Inzichten en aanbevelingen.,* Alterra, rapport 1544.2.
  43. Schothorst, C. (1977) *Subsidence of low moor peat soils in the western Netherlands.* Geoderma, 17(4): 265-291.
  44. Meulenkamp, W., C. de Bont, P. Hofman, O. de Jong, J. Mulder, R. Olde Loohuis en W. Rienks (2008) *Veenweide: remmen of doorstarten? Vanuit cultuurhistorie naar de toekomst,* Alterra, rapport 1535.
  45. CLM (2008) *persoonlijke mededeling.*
  46. Anoniem (2003) *Felle discussie over toekomst veenweidegebied : lager waterpeil noodzakelijk voor voortbestaan.* H2O, 36(13):6.
  47. Querner, E., P. Jansen en C. Kwakernaak (2008) *Effects of water level strategies in dutch peatlands:a scenario study for the polder Zegveld.* Peatlands and Climate:620-623.
  48. [www.waarheenmethetveen.nl](http://www.waarheenmethetveen.nl)
  49. MNP (2006) *Milieubalans 2006,* MNP, rapport 500081001.
  50. Ainsworth, E.A. en S.P. Long (2005) *What have we learned from 15 years of free-air CO<sub>2</sub> enrichment (FACE)? A meta-analytic review of the responses of photosynthesis, canopy.* New Phytologist, 165(2):351-371.
  51. van Groenigen, K.J., *Linking soil C and N dynamics in managed ecosystems under elevated CO<sub>2</sub>.* 2007, Wageningen Universiteit: Wageningen. p. 141.
  52. Schimel, D.S. (1995) *Terrestrial exosystems and the carbon cycle.* Global Change Biology, 1:77-91.
  53. van der Meer, L., E. Kreft, C. Geel, D. D'Hoore en J. Hartman (2006) *CO<sub>2</sub> storage and testing enhance gas recovery in the K12-B reservoir. in 23<sup>rd</sup> World Gas Conference.* Amsterdam.
  54. de Jong, K. (2009) *Speculeren met CO<sub>2</sub> onder Barendrecht.* Olino duurzame energy (online journal), [www.olino.org](http://www.olino.org).
  55. Hack-ten Broeke, M.J.D., R.P.J.J. Rietra, P.F.A.M. Romkens en F.d. Vries (2008) *Geschiede of vruchtbare landbouwgronden in Nederland en Europa : een overzicht en synthese van bestaande informatie,* Alterra, rapport 1693.
  56. WRR (2006) *Klimaatstrategie: tussen ambitie en realisme,* WRR, rapport 74.
  57. Johnston, A.E., P.R. Poulton en K. Coleman (2009) *Soil organic matter: its importance in sustainable agriculture and carbon dioxide fluxes in Advances in Agronomy.* Elsevier Academic Press Inc: San Diego. p. 1-57.
  58. Janzen, H.H. (2006) *The soil carbon dilemma: Shall we hoard it or use it?* Soil Biology & Biochemistry, 38(3):419-424.

59. Brulwiller, L. (2009) "Recent trends in the atmospheric methane burden", Presentatie tijdens NCGG5 congres Wageningen.
60. Oenema, O., G. Velthof en P. Kuikman (2001) *Technical and policy aspects of strategies to decrease greenhouse gas emissions from agriculture*. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 60(1-3):301-315.
61. FAO (2006) *Livestock's long shadow: environmental issues and options*, rapport.
62. Smith, K.A. (1999) *After the Kyoto Protocol: Can soil scientists make a useful contribution?* Soil Use and Management, 15(2):71-75.
63. Brandes, L., P. Ruysenaars, H. Vreuls, P. Coenen, K. Baas, G. van den Bergh, G. van den Born, B. Guis, A. Hoen, R. te Molder, D. Nijdam, J. Olivier, C. Peek en M. van Schijndel (2007) *Broeikasgasemissies in Nederland 1990-2005*, PBL, rapport 500080006.
64. Vellinga, Th.V., A. van den Pol-van Dasselaar & P.J. Kuikman (2004). *The impact of grassland ploughing on CO<sub>2</sub> and N<sub>2</sub>O emissions in the Netherlands*. Nutrient Cycling and Agroecosystems 70:33-45.
65. Reijneveld, A., J. van Wensem en O. Oenema (2009) *Trends in soil organic carbon content of agricultural land in the Netherlands between 1984 and 2004*. Geoderma, accepted for publication.
66. Seo, N., R. Mendelsohn, P. Kurukulasuriya, A. Dinar en R. Hassan (2008) *Differential adaptation strategies to climate change in African cropland by agro-ecological zones*, The World Bank, Development Research Group, rapport
67. Fischer, G., M. Shah en H. van Velthuizen (2002) *Climate Change and Agricultural Vulnerability*, IIASA, rapport.
68. Hermans, T. en J. Verhagen (2008) *Spatial impacts of climate and market changes on agriculture in Europe*, Alterra, rapport 1697.
69. Deltacommissie (2008) *Samen werken met water*, rapport [www.deltacommissie.nl](http://www.deltacommissie.nl).
70. Banse, M., P. Nowicki en H. van Meijl (2008) *Why are current world food prices so high?*, LEI, rapport 2008-040.
71. Giampietro, M., S. Ulgiati en D. Pimentel (1997) *Feasibility of large-scale biofuel production*. BioScience, 47(9):587-600.
72. Nowicki, P., M. Banse, C. Bolck, H. Bos en E. Scott (2008) *Biobased economy : state-of-the-art assessment*, LEI, rapport 6.08.01.
73. Gengler, L. (2007) *Klassiek fenomeen: grote vraag en laag aanbod geven hogere prijzen*. Spil:241-244.
74. Lal, R. en D. Pimentel (2007) *Biofuels from crop residues*. Soil and Tillage Research, 93(2):237-238.
75. Koopmans, G.F., P. Romkens, M.J. Fokkema, J. Song, Y.M. Luo, J. Japenga en F.J. Zhao (2008) *Feasibility of phytoextraction to remediate cadmium and zinc contaminated soils*. Environmental Pollution, 156(3):905-914.
76. WNF (2006) Factsheet: *Een oplossing voor klimaatverandering: Bio-energie*.
77. [www.milieucentraal.nl](http://www.milieucentraal.nl)
78. Ball, S., C. Bessell en A. Mortimer (1957) *The production of polyenic antibiotics by soil streptomycetes*. Journal of General Microbiology, 17(1):96-103.
79. Cordell, D., J.-O. Drangert en S. White (2009) *The story of phosphorus: Global food security and food for thought*. Global Environmental Change, 19(2):292-305.
80. van der Bolt, F., E. van Boekel, O. Clevering, W. van Dijk, I. Hoving, R. Kselik, J. de Klein, T. Leenders, V. Linderhof, H. Massop, H. Mulder, G. Noij, E. van Os, N. Polman, L. Renaud, S. Reinhard, O. Schoumans en D. Walvoort (2008) *Ex-ante evaluatie landbouw en KRW: effect van voorgenomen en potentieel aanvullende maatregelen op de oppervlaktewaterkwaliteit voor nutriënten*, Alterra, rapport 1687.
81. Schoumans, O., J. Willems en G. van Duinhoven (2008) *30 Vragen en antwoorden over fosfaat in relatie tot landbouw en milieu*. Wageningen, Alterra, rapport.
82. van Wezel, A., R. Franken, E. Drissen, C. Versluijs en R. van den Berg (2007) *Maatschappelijke Kosten-Baten Analyse van de Nederlandse bodemsaneringsoperatie MNP*, rapport 500122002.
83. Bonten, L., J. Groenenberg en P. Römkens (2009) *Mogelijkheden voor maatregelen en invloed van voorgenomen beleid m.b.t. nutriënten op de uitspoeling van zware metalen naar het oppervlaktewater*, Alterra, rapport 1818.
84. van Beek, C.L. (2008) presentatie "Harmonisatie van risk assessment methodieken in de EU", Presentatie tijdens BodemBreed congres Lunteren.

# Colofon

|                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Uitgave:       | Alterra                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Druk:          | Digigrafi                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Figuren:       | Biologica (pag 12), Rosegrant et al. (2001) 2020 Global Food Outlook; trends, alternatives and choices, International Food Policy Research Institute (pag 13), L. Dirkx (pag 15), Milieunatuurcompendium (pag 18), ministerie van VROM (pag 19), K. Zwart (pag 14, 20, 29, 33 ), J. van Westen (pag 21), I. Versteegen (pag 22), MNP, milieubalans 2006 (pag 23), <a href="http://www.dbi-gut.de">www.dbi-gut.de</a> (pag 26), Oenema et al. (2001) (pag 27), <a href="http://www.ruimtexmilieu.nl">www.ruimtexmilieu.nl</a> (pag 31), duinwaterbedrijf Zuid Holland (pag 35), S. Verzandvoort (pag 38), J.W. van Groenigen (pag 39) en NAM (pag 40). |
| Omslagontwerp: | Karel Hulsteijn, Wageningen UR                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Auteurs:       | Christy van Beek en Annemieke Smit                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Vormgeving:    | Communication Services, Wageningen UR                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |

85. van Beek, C.L., T. Tóth, A. Hagyo, G. Tóth, L. Récatala Boix, C. Añó Vidal, J.P. Malet, O. Maquire, J.J.H. van den Akker, S.E.A.T.M. van der Zee, S. Verzandvoort, C. Simota, P.J. Kuikman en O. Oenema (submitted) *Towards harmonization of risk assessment methodologies for soil threats in Europe*. Soil Use and Management.
86. Rabbinge, R. en H. Löffler (2007) *De productie van voedsel wereldwijd*. Spil:241-244.
87. Boots, B. en L. Brussaard (2006) *Biodiversiteit van de bodem: wat hebben we eraan?*, Sectie Bodemkwaliteit Wageningen Universiteit, rapport.
88. TCB (2009) *Advies gevolgen afdekken van bodem*. rapport A048.
89. Hetrick, B.A.D., G.W.T. Wilson en T.S. Cox (1993) *Mycorrhizal dependence of modern wheat cultivars and ancestors - a synthesis* Canadian Journal of Botany-Revue Canadienne De Botanique, 71(3):512-518.
90. Hoeksema, H., H. Mulder, Rommel, de Ronde en J. de Vlas (2004) *Bodemdalingstudie Waddenzee Vragen en onzekerheden opnieuw beschouwd.*, RIKZ, rapport 2004.025.