



Kennis
voor
Klimaat

Klimaatverandering, klimaatadaptatie en bodem: maakbaarheid, planvorming en realiteitsdenken





Klimaatverandering, klimaatadaptatie en bodem: maakbaarheid, planvorming en realiteitsdenken

Samengesteld door Simone Verzandvoort¹⁾ en Peter Kuikman¹⁾



Op basis van bijdragen van:

Geiske Bouma	TNO Bouw & Ondergrond/SKB
Violette Geissen	Alterra, Wageningen UR
Tia Hermans	Alterra, Wageningen UR
Simon Moolenaar	Stichting Kennisontwikkeling Kennisoverdracht Bodem
Wim van der Putten	NIOO-KNAW
Huib Reinaarts	Deltares/WU
Peter de Ruiter	Alterra/Biometris, Wageningen UR
Jan Verhagen	Plant Research International, Wageningen UR
Henk Wösten	Alterra, Wageningen UR
Oene Oenema	Bodemkwaliteit, Wageningen UR

1) Alterra, Wageningen UR

KvK rapportnummer KvK 014/09
ISBN 978-94-90070-11-3

Dit project (VBR 13 inrichting, planologie en maakbaarheid) is uitgevoerd in het kader van het nationaal onderzoeksprogramma Kennis voor Klimaat. Dit onderzoekprogramma wordt medegefinancierd door het Ministerie van VROM.

Disclaimer

De voorliggende verkenning maakt deel uit van een reeks verkenningen naar de *State of Art* voor een aantal belangrijke adaptatie thema's die ter voorbereiding op de daadwerkelijke start van het nationaal onderzoeksprogramma *Kennis voor Klimaat* op verzoek van de directie van *Kennis voor Klimaat* is uitgevoerd. Het betreffen verkenningen op zowel natuurwetenschappelijke en technische als sociaal wetenschappelijke onderwerpen. Doel van de verkenningen was om na te gaan welke kennis beschikbaar is voor het betreffende adaptatie thema en welke kennisleemtes er zijn. De *State of Art* overzichten zijn niet alleen bedoeld als advies aan de directie en programmaraad van *Kennis voor Klimaat* m.b.t. de inhoudelijke afbakening van het onderzoeksprogramma, maar ook als achtergrond informatie over een aantal belangrijke adaptatie thema's voor een brede doelgroep. *Kennis voor Klimaat* stelt daarom de *State of Art* verkenningen via haar website www.kennisvoorklimaat.nl vrij beschikbaar, maar de inhoud van de verkenning valt onder verantwoordelijkheid van de auteurs die ook zelf de review van de verkenningen hebben georganiseerd door een concept aan een groep van wetenschappers, experts en betrokkenen voor te leggen.

Copyright @ 2009

Nationaal Onderzoekprogramma Kennis voor Klimaat (KvK). Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd, in geautomatiseerde bestanden opgeslagen en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm, geluidsband of op welke andere wijze ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van het Nationaal Onderzoekprogramma Kennis voor Klimaat. In overeenstemming met artikel 15a van het Nederlandse auteursrecht is het toegestaan delen van deze publicatie te citeren, daarbij gebruik makend van een duidelijke referentie naar deze publicatie.

Aansprakelijkheid

Hoewel uiterste zorg is besteed aan de inhoud van deze publicatie aanvaarden de Stichting Kennis voor Klimaat, de leden van deze organisatie, de auteurs van deze publicatie en hun organisaties, noch de samenstellers enige aansprakelijkheid voor onvolledigheid, onjuistheid of de gevolgen daarvan. Gebruik van de inhoud van deze publicatie is voor de verantwoordelijkheid van de gebruiker.



Inhoudsopgave

1. Inleiding.....	7
2. Effecten van klimaatverandering op bodem	9
3. Wetenschappelijke en maatschappelijke kansen.....	15
3.1 Doen: maakbaarheid en planvorming met de bodem (cluster I)	20
3.2 Bodem ontdekken, realiteitsdenken over maakbaarheid (cluster II)	33
4. Synthese	39
5. Tot slot: slim gebruik maken van de bodem in klimaatadaptatie.....	44
6. Referenties	46





1. Inleiding

We beseffen in Nederland dat klimaatverandering invloed heeft op de economie, veiligheid en leefomgeving, productie in land- en tuinbouw, natuur en inrichting van Nederland. De effecten van klimaatverandering vragen in veel gevallen om adaptatie aan de veranderde (klimaat)omstandigheden. Veel effecten van klimaatverandering hebben te maken met *directe* of indirecte reacties van bodemsystemen. Klimaatverandering beïnvloedt de bodem direct maar ook *indirect* als gevolg van menselijke activiteiten die zijn gericht op aanpassing aan een verandering van het klimaat (inrichting van waterretentiegebieden of voorzieningen voor wateropvang). Adaptatie aan klimaatverandering gaat veelal om de (her)inrichting van en ruimtelijke (her)verdeling van functies in Nederland. Bijna de helft van de adaptatiestrategieën die zijn geïdentificeerd in bijvoorbeeld de rapportage Routeplanner naar een Klimaatbestendig Nederland [Van Ierland et al., 2006] maakt gebruik van één of meer bodemfuncties. Kennelijk verwachten en vinden wij dat het verstandig is om bodemeigenschappen en bodemfuncties in te zetten voor adaptatie aan klimaatverandering en zo het aanpassingsvermogen te vergroten [COM, 2002,179 final; Blum, 2006]. Dit uitgangspunt betekent dat we een goed overzicht nodig hebben van wat bodems in Nederland en omstreken 'kunnen' als het aankomt op adaptatie aan klimaatverandering.

Dit rapport presenteert een beknopt overzicht van de stand van zaken (*state-of-the-art*) in het nationale en internationale onderzoek naar de relatie van klimaatverandering en bodem en van de mogelijkheden om bodems en bodemsystemen te gebruiken voor slimme en effectieve adaptatie aan klimaatverandering in Nederland. De analyse is gericht op alle typen bodems die in Nederland voorkomen en omvat zowel natuurlijke en kunstmatig gevormde bodems, bodems in en onder bebouwd gebied en (onder)waterbodems. We bekijken de mogelijke inzet van bodemfuncties voor klimaatadaptatie voor geselecteerde thema's in Nederland. Daarbij maken we een analyse vanuit drie invalshoeken: maakbaarheid, planvorming en realiteitsdenken (zie kader).

Maakbaarheid van de bodem omvat het bewust en gericht veranderen dan wel aanbrengen of laten ontstaan van bodems en bodemfuncties in Nederland. Ook het veranderen van bodemeigenschappen om een bodem te laten ontstaan die beter is toegerust om klimaatveranderingen op te vangen is een vorm van maakbaarheid. Denk hierbij aan het stimuleren van bodemvorming en aan de microbiële stabilisatie van ondergrond en dijken of andere landschapselementen om bijvoorbeeld het overstromingsrisico te verkleinen, of voor waterbeheer dat is aangepast aan de veranderingen in neerslagpatronen en neerslaghoeveelheden.

Planvorming heeft betrekking op het maken van plannen voor bodemgebruik in ruimte en tijd. Een voorbeeld van klimaatadaptatie met de bodem gezien vanuit planvorming is het spreiden van stadsuitbreiding en menselijke activiteiten om de vorming van hitte-eilanden te voorkomen.

Realiteitsdenken inzake de bodem wil zeggen dat we rekening willen houden met natuurlijke en relatief trage en geleidelijke processen in bodems onder invloed van een veranderend klimaat zoals het veranderen van soortensamenstelling van leven in de bodem en van de reactiesnelheid bij verandering van functies van de bodem. De natuurlijke snelheid of traagheid van deze bodemprocessen stelt grenzen aan het succes van ingrepen in bodemsystemen ten behoeve van aanpassing en verbetering voor de ruimtelijke inrichting van Nederland.



Dit rapport is een voorstudie in opdracht van en voor het programma Kennis voor Klimaat. Dit programma is gericht op het organiseren van kennis om Nederland klimaatbestendig te maken. Daarnaast zoekt het programma naar mogelijkheden om de kwetsbaarheid van Nederland voor klimaatverandering om te zetten in kansen om Nederland minder kwetsbaar te maken en om de Nederlandse economie te stimuleren door het gebruiken van de kennis bij de vormgeving van adaptatiestrategieën. Denk hierbij aan de ontwikkeling van een *biobased economy* die minder afhankelijk is van fossiele grondstoffen en naar verwachting minder negatieve invloed heeft op het mondiale klimaat. Maar ook aan export van kennis over aanpassing aan klimaatverandering in laaggelegen delen in de vele delta's in de wereld. Daarom worden sommige thema's in een internationale context beschreven.



2. Effecten van klimaatverandering op bodem

Bodems vervullen belangrijke functies voor mensen en hun (natuurlijke) leefomgevingen. Deze functies kunnen worden ingedeeld in 6 hoofdgroepen (zie kader). Tot voor kort was bodem alleen onderwerp van onderzoek en beleid met betrekking tot de (agrarische) productiefunctie. Pas in de laatste decennia groeit het besef van het belang van de overige functies van bodem.

Bodemfuncties

1. Productiefunctie voor biomassa
2. Filter- buffer- en transformatiefunctie voor water, gassen en stoffen tussen atmosfeer, bodem- en grondwater en objecten en organismen aan het aardoppervlak. Briotransformatie van organische stof.
3. Biologische habitat en genenreserve
4. Draagkrachtfunctie voor technische, industriële en socio-economische structuren
5. Bron of opslagplaats van materialen en energie
6. Erfgoedfunctie

Klimaatverandering beïnvloedt de biologische, chemische en fysische eigenschappen van de bodem en daarmee de kwaliteit van bodemfuncties en de mogelijkheden voor gebruik van die bodems. De veranderingen in de bodem in reactie op klimaatverandering kunnen positieve en negatieve effecten hebben op het functioneren van de bodem voor verschillende functies. Deze effecten en veranderingen in de bodem zijn divers en complex. Zo treden veranderingen in textuur en mineralogische samenstelling vrijwel alleen op lange tijdschalen (100 jaar en meer) op, maar bodemeigenschappen als zuurgraad, organisch stofgehalte of microbiële activiteit en bodemvruchtbaarheid kunnen sneller (jaren tot decaden) reageren op veranderingen in het klimaat [EEA-JRC-WHO, 2008].

Klimaatverandering is niet de enige factor van belang voor het behoud van het functioneren van bodemsystemen. Klimaatverandering beïnvloedt de kwaliteit van bodemfuncties en versterkt zo bestaande (grensoverschrijdende) bodembedreigingen. In het kader van de Europese Bodemstrategie worden vooral de bedreigingen voor bodems als gevolg van bodemerosie, verlies aan organische stof en bodemdegradatie in droge gebieden (*desertification*) genoemd als bedreigingen die worden versterkt door klimaatverandering [EC, 2006; EEA-JRC-WHO, 2008].

Organische stof in de bodem stuurt het merendeel van de bodemfuncties. Een eventuele afname van organische stof in de bodem kan leiden tot (i) een afname van biologische activiteit en bodemvruchtbaarheid en daarmee van het productievermogen van de bodem en van bodembiodiversiteit (functies 2 en 3 – zie kader), (ii) een afname van watervasthoudend vermogen (functie 5), en (iii) een toename van de kans op erosie en verdichting (alle functies). Verschillende projecties van klimaatverandering in Europa leiden tot snellere afbraak en verlies van organische stof in de bodem [Janssens, 2004; Bellamy, 2005: in: EEA-JRC-WHO, 2008].

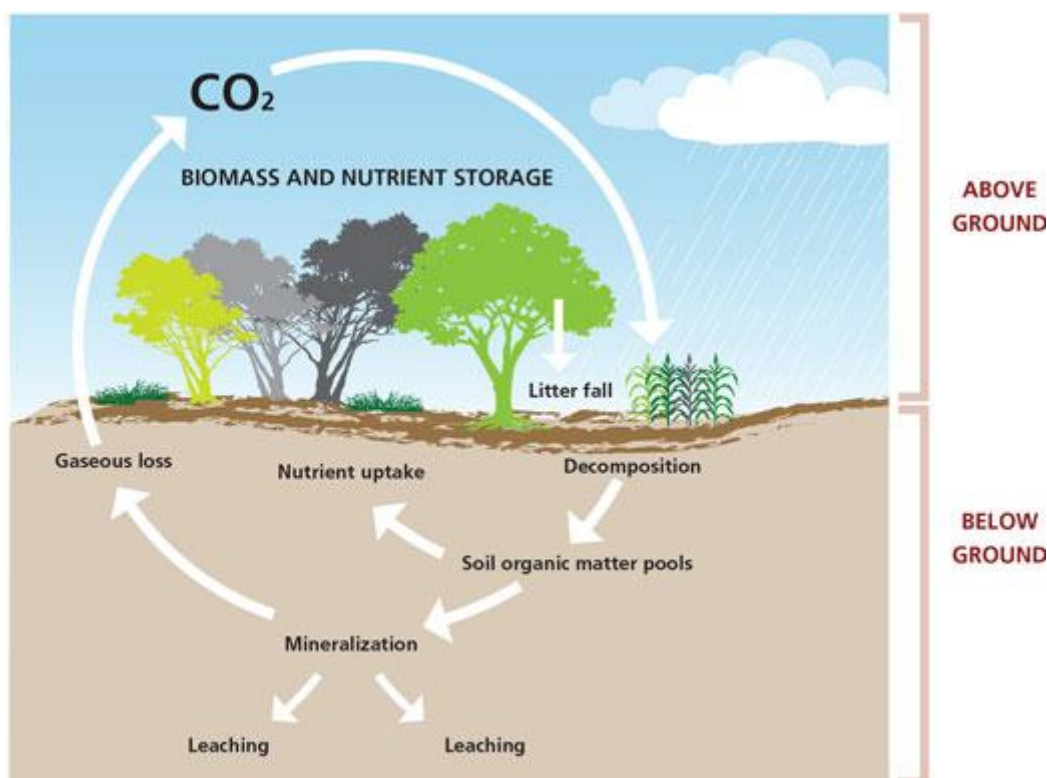
Organische stof

Het onderzoek naar effecten van klimaatverandering op bodem is vooral gericht op organische stof in de bodem. Verlies van organische stof kan een significante bron van broeikasgassen zijn. Daarnaast is organische stof kwetsbaar bij temperatuurverhoging en bij veranderingen in de vochtthuishouding van de bodem. In het EUFP6 – CLIMSOIL project



[Schils et al., 2008] is onlangs een 'state of the art' opgesteld van de kennis over interacties tussen klimaatverandering en bodems bij verschillend landgebruik (agrarisch, bos en wetlands). Deze evaluatie is gemaakt op basis van literature review en expert opinion van de invloed van klimaatverandering op bodem, de voorraad organische stof, en op de invloed van menselijk handelen en mogelijkheden om voorraadbeheer van organische stof uit te voeren. De evaluatie komt tot de conclusie dat de invloed van mensen via beheer van de bodem groter is dan de verwachte invloed van klimaatverandering op de voorraad organische stof in de bodem. De evaluatie identificeert ook een aantal relevante kennishiaten die een afdoende inschatting van de invloed van klimaatverandering op de bodem beperken. Deze kennishiaten zijn:

- Er is onvoldoende bekend over de hoeveelheid koolstof die is opgeslagen in de verschillende bodems in Europa;
- Waarnemingen aan veranderingen van de hoeveelheid organische stof in de bodem (monitoring) zijn zeer beperkt en indien beschikbaar niet voldoende om veranderingen in organische stofvoorraden waar te nemen en te relateren aan klimaatfactoren en klimaatverandering;
- Er is onvoldoende bekend over de effectiviteit van bodem- en landgebruik en van maatregelen die zijn gericht op vastleggen en vasthouden van voorraden van organische stof in de bodem. Dit beperkt de mogelijkheden tot implementatie van gerichte maatregelen en activiteiten om de emissies van broeikasgassen uit de bodem te beperken en voorraden organische stof op peil te houden;
- Het belang van koolstofvoorraad en koolstofopslag in de bodem in relatie tot emissies van koolstof uit overige sectoren en tot inspanningen om de emissie van broeikasgassen tegen te gaan in andere sectoren (e.g. verkeer en vervoer, industrie, energie) is onduidelijk.



Figuur 1. Vastlegging van organische stof bovengronds en ondergronds. Source: FAO [2007]. The State of Food and Agriculture 2007. Part I: Paying farmers for environmental services. Rome.



Biodiversiteit

De effecten van klimaatverandering op de omvangrijke biodiversiteit in de bodem zijn nog onvoldoende gekend om voorspellingen te kunnen doen over veranderingen in het functioneren van bodems in reactie op klimaatverandering. Denk hierbij aan functies als bodemvruchtbaarheid en biomassa-productie, vóórkomen van bodemziekten en -plagen en weerbaarheid tegen bodemgebonden ziekten en plagen in landbouw productiesystemen. Wel is duidelijk dat klimaatverandering directe (via bodemtemperatuur en bodemvocht) en indirecte invloed (via afbraaksnelheid van organische stof en verschuivingen in habitats van plantensoorten) heeft op de diversiteit van leven in bodems.

Bodemerrosie

De gevolgen van klimaatverandering voor bodemerrosie zijn moeilijk voorspelbaar vooral omdat de regionale veranderingen van het klimaat in combinatie met specifieke (bodem)omstandigheden moeilijk te duiden zijn. De effecten van klimaatverandering op bodemerrosie op Europese schaal bestaan naar verwachting uit een toename van erosie in die gebieden met een toename in frequentie van extreme neerslaghoeveelheden en toenemende droogte [Kirkby, 2006; IPCC, 2007; EEA-JRC-WHO, 2008]. Indirecte effecten van klimaatverandering door landgebruik en landgebruikverandering spelen mogelijk een grotere rol dan klimaatverandering alleen. Deze indirecte effecten zijn in grote mate afhankelijk van sociaaleconomische factoren en daarmee evenzeer lastig te voorspellen [Kirkby, 2006].

Bodemdegradatie

Bodemdegradatie in droge gebieden (*desertification*) is nu al een probleem in delen van het Mediterrane gebied en Centraal- en Oost-Europa [Van Lynden, 2000; EEA-JRC-WHO, 2008]. Door hogere zomertemperaturen en een afname van zomerneerslag wordt landdegradatie versterkt, met negatieve gevolgen voor de landbouw- en toerismesector [IPCC, 2007; Hermans en Verhagen, 2008]. Overigens geldt ook hier dat de invloed van sociaal economische factoren naar verwachting groter is dan het effect van klimaatverandering alleen.

Productiviteit

Klimaatverandering heeft ook gunstige, versterkende effecten op bodems en bodemfuncties. Het meest bekend is de verwachte toename van de productiviteit in sommige landbouwgebieden in Noordwest Europa door CO₂-fertilisatie en langere groeiseizoenen bij temperatuurstijging. Dit effect speelt naar verwachting niet meer in de 2^e helft van de 21^e eeuw als de negatieve invloed van klimaatverandering op landbouwkundige productie door een geringer waterbufferend en –leverend vermogen van de bodem gaat overheersen. De effecten van klimaatverandering op een toenemende behoefte aan irrigatiewater bij toenemende droogte worden in dezelfde orde van grootte geschat als veranderingen ten gevolge van sociaaleconomische ontwikkelingen en toename van de vraag naar biomassa en voedsel in de periode van 2000-2080 [Fischer, 2008].

Bodem en klimaatadaptatie

In de Europese context wordt bodem niet alleen gezien als onderdeel van het probleem van kwetsbaarheid bij klimaatverandering, maar nadrukkelijk ook als onderdeel van oplossingen bij adaptatie (en mitigatie) van klimaatverandering. Het vasthouden en vastleggen van organische stof in de bodem door gerichte bodembeheersmaatregelen wordt gezien als één van de belangrijkste adaptatiemogelijkheden voor klimaatverandering. Hierbij wordt expliciet gebruik gemaakt van bodemfuncties. Veengronden vormen een speciale categorie bodems met hun onevenredige grote voorraad aan organische stof en een in potentie forse emissie van CO₂ bij cultivatie en drainage ten behoeve van land- en bosbouw. Deze emissies is van



dezelfde orde van grootte als de vastlegging van koolstof in (groeierende) bossen. De veengronden zijn daarom een belangrijk onderwerp in onderzoek naar effecten van en adaptatie aan klimaatverandering en van mogelijkheden voor het behoud van biodiversiteit, filter- en reguleringsfuncties en opslag van broeikasgassen (Carbon sequestration - sinks). De bescherming en het behoud en herstel van veengronden wordt internationaal gezien als een belangrijke vorm van klimaatmitigatie en – adaptatie [EC, 2008; IPCC, 2007]. Bodems zijn overigens een bron (source) en put (sink) van niet alleen CO₂, maar ook van N₂O (lachgas) en methaan (CH₄).

Bodems en bodemfuncties worden in toenemende mate gezien als belangrijke (regulerende) schakels in mondiale processen die leiden tot klimaatverandering en die invloed hebben op zowel de menselijke als de natuurlijke leefomgeving [EC, 2008]. Bodems zijn belangrijke verbindende elementen van internationale conventies (klimaat, biodiversiteit) die onze leefomgeving moeten helpen beschermen en voorzieningszekerheid van voedsel moeten bevorderen [UNCCD¹, UNFCCC², CBD³]. Dat betekent overigens niet dat gerichte actieplannen die leiden tot bescherming van bodems en bodemfuncties zijn geïdentificeerd en geïmplementeerd.

Het besef dat bodems mogelijkheden bieden voor klimaatadaptatie dringt door tot verschillende Europese beleidssectoren [EC, 2007]. Suggesties voor vernieuwing en aanpassing van beleid bestaan o.a. uit het opnemen van de bodem als een onderdeel van de koolstofbalans van geïndustrialiseerde landen (UNFCCC klimaat- en Kyotoverdrag) en uit het Gemeenschappelijk Landbouw Beleid waarin boeren in staat worden gesteld om klimaatadaptatie te bewerkstelligen door middel van bodem gerelateerd beheer en maatregelen. Ook de ontwikkeling van een Europese Bodemstrategie en een eventuele Europese Kaderrichtlijn Bodem bieden mogelijkheden voor klimaatadaptatie onder meer door gericht (verder) verlies van organische stof uit de bodem te vermijden.

Bodem in Nederland

In de routeplanner studies “Klimaat voor Ruimte” en “Leven met Water” [Klimaat voor Ruimte, Leven met Water en Habiforum, 2006] zijn de effecten van klimaatverandering op verschillende systemen in Nederland gebundeld. Bodemfuncties spelen intrinsiek – dus ook zonder ze bewust in te zetten voor klimaatadaptatie – een rol bij adaptatie aan klimaatverandering. In relatie tot het watersysteem gaat het om de rol van bodem als:

- ruimtelijke drager van de (schaarse) voorraad water (draagkrachtfunctie) of
- opslagplaats (opslagfunctie) voor teveel water en voorkomen van wateroverlast of
- transportmedium voor de zoutindringing in oppervlaktewater (buffer- en filterfuncties) en
- bron van (grond)water voor beregening bij verdroging en voorraadvorming om water tekorten te vermijden of verlichten (bronfunctie).

In de natuur reguleert de bodem grondwaterstanden (bufferfunctie) en vormt een geschikte habitat voor plant- en diersoorten in en op de bodem (habitatfunctie en genenreserve). In de landbouw zijn bodemeigenschappen bepalend in hoeverre wateroverlast in winterperiodes in het landelijk gebied in laag Nederland toeneemt (bufferfunctie), in hoeverre watertekorten in de bodem in de zomer vaker en langduriger worden (bronfunctie) en in hoeverre zoute kwel bij verdroging in het binnenland en zeespiegelstijging toeneemt (bufferfunctie). In relatie tot energie is de bodem van belang door de mogelijkheid om warmte en koude op te slaan (opslagfunctie) dan wel te benutten (geothermie, bronfunctie). Bij transport, huisvesting en

¹ United Nations Convention to Combat Desertification

² United Nations Framework Convention on Climate Change

³ Convention on Biological Diversity



infrastructuur zijn effecten van klimaatverandering op (afname van) stabiliteit van bodems onder infrastructuur als gevolg van wateroverlast of vorst (waterkeringen, wegen, spoorwegen) aan de orde (draagkrachtfunctie). Tot slot heeft de bodem ook een indirecte rol in het reguleren van onder- en bovengrondse ziekten en plagen in natuur en landbouwkundige productiesystemen bij veranderingen van klimaat.

In de beschikbare studies naar klimaatbestendigheid van Nederland is nauwelijks aandacht besteed aan de mogelijkheden die bodems en bodemfuncties bieden voor effectieve adaptatie aan klimaatverandering. De beschikbare studies zijn hoofdzakelijk gericht op waterbeheer en –beleid [e.g. RWS-Waterdienst/Deltares, 2008; Kwadijk et al., 2008]. De terugkerende thema's in deze studies zijn veiligheid (vooral in relatie tot overstromingen) [e.g. De Wit et al., 2008], natuur en watervoorziening [e.g. MNP, 2007]. De identificatie en het ontwerp van maatregelen in adaptatie zijn sterk gericht op het watersysteem van Nederland, en houden vaak geen of onvoldoende rekening met effecten van klimaatverandering of van gerichte reacties op klimaatverandering op bodems en bodemfuncties. In navolgend hoofdstuk laten we zien dat ook het bodemsysteem van Nederland mogelijkheden biedt voor het beheersen van de gevolgen van klimaatverandering.





3. Wetenschappelijke en maatschappelijke kansen

In dit hoofdstuk gaan we na welke kansen er zijn om bodemfuncties gericht in te zetten om negatieve effecten van klimaatverandering voor de menselijke en natuurlijke leefomgeving te vermijden. De informatie in dit hoofdstuk is ingebracht door experts van relevante kennis- en onderzoeksinstituten in Nederland op het gebied van bodem en water, ecosystemen, landbouw, ondergrond, ruimtelijke inrichting, landgebruikveranderingen en broeikasgasemissies. Hun bijdragen zijn deels verzameld in een Workshop 'Klimaatverandering, klimaatadaptatie en bodem: inrichting, gebruik, planvorming en maakbaarheid' op 13 januari 2009 [Verzandvoort en Kuikman, 2009] en aangevuld via een schriftelijke consultatie van experts. Daarnaast is de Onderzoeksagenda Bodem gebruikt die is opgesteld door het Dutch Soil Platform [DSP, 2008].

De kansen voor het inzetten van bodemfuncties voor klimaatadaptatie zijn in te delen in 2 groepen: 'Doen: maakbaarheid en planvorming met de bodem' (cluster I), en 'Bodem ontdekken en realiteitsdenken over maakbaarheid' (cluster II) (Tabel 1).

Het eerste cluster bevat onderwerpen die een technische ondersteuning propageren door het maken van bodems met nieuwe materialen ('*smart soils*') of door het stimuleren van biologische processen die bodemvorming initiëren en versnellen. De opties zijn gericht op het versterken van de draagkrachtfunctie van bodems voor infrastructuur (incl. veiligheidswerken), wonen en werken, en daarmee het meest geschikt voor de bebouwde ('ge-engineerde') omgeving in Nederland. Over de onderwerpen in dit cluster is al veel kennis beschikbaar, maar nog onvoldoende over de inzet in ruimtelijke inrichting voor klimaatadaptatie.

Het tweede cluster bevat onderwerpen die te maken hebben met geleidelijke processen van transitie naar klimaatbestendigheid, ontkoppeling en migratie in bodems onder invloed van een veranderend klimaat. Over deze onderwerpen weten we nog onvoldoende om ze op korte termijn toe te passen in klimaatadaptatie. Deze onderwerpen hebben vooral betrekking op het niet bebouwde deel van de bodem waar klimaatverandering misschien geen aparte uitdaging is maar bestaande issues versterkt (ruimte, water, biodiversiteit en bodemfuncties) en grenzen aan handelingsperspectief nu eerder worden bereikt. In dit cluster is nog veel te ontdekken over bijvoorbeeld het tempo van verandering van kringlopen in de bodem, over invasies en verplaatsing van gewenste en ongewenste bodemorganismen (ziekten en plagen en biodiversiteit) en dus ook over de maakbaarheid van de bodem. Hier ligt de nadruk op het biotische deel van de bodem.





Tabel 1. Kansen voor het inzetten van bodemfuncties voor klimaatadaptatie in Nederland.

A Onderwerp	Inzetbare bodemfuncties	B Toelichting	C Specifiek meenemen in uitwerking
Cluster I			
Subsoil engineering - suppletie - energie - nieuwe bodem	Productie Buffer, filtertransformatie Draagkracht Opslag Erfgoed	<ul style="list-style-type: none"> - Ophogen van bewoonde gebieden - Energie uit de ondergrond - Nieuwe bodem 	Bodem volgt functie versus functie volgt bodem.
Functie- en risicodifferentiatie	Alle	Effecten van klimaatverandering op bodem en ondergrond in (plan)gebied in kaart brengen om vervolgens het effect op de ruimtelijke functies (bestaand en nieuw) te bepalen (risicodifferentiatie). Op basis hiervan in een vroeg stadium aandacht besteden aan inrichting en gebruik en mogelijkheden voor adaptatie (functiedifferentiatie).	Bodem volgt functie versus functie volgt bodem. Binnen ruimtelijke planvorming als inrichtingsconcept, naast aandacht voor water, ook voor bodem en ondergrond. Bewust omgaan met inrichting met het oog op klimaatverandering en het effect op ruimtegebruik.
Meervoudig ondergronds ruimtegebruik	Draagkracht Opslag	Ondergrondse ruimte als kans voor adaptatie: ondergrond benutten vanuit bodemfuncties (opslag CO ₂ , opslag warmte/koelte) en/of ondergrond benutten vanwege extra ruimte (ruimtegebruik onder het maaiveld). Ondergrondse ruimte benutten als kans in gevallen van adaptatie.	Ondergrondse ruimte expliciet meenemen in de ruimtelijke afwegingen en zoektocht naar adaptatiemogelijkheden.
Klimaatbestendig beheer van veengronden met gebruik van bodembiodiversiteitsindicator	Productie Buffer-filtertransformatie Habitat en genenreserve Erfgoed	<ul style="list-style-type: none"> - Bodemkwaliteit is een richtinggevend concept; - Bodemkwaliteit kan afgelezen worden aan de hand van het functioneren van de ecosysteemdiensten (o.a. in relatie tot klimaat) in de bodem; - De bodem levert ecosysteemdiensten, deze worden benut door de bodemgebruiker(s). Duurzaamheid dient hierbij gestimuleerd te worden; - Om de toestand van de ecosysteemdiensten vast te stellen zijn maatlatten en meetsystemen nodig. 	Er moeten hele duidelijke praktijkvragen aan bod komen (wel of niet bovengronds uitrijden, de rol van onder-water-drainage etc). De koppeling met het eigen (agrarisch) bedrijf en handvatten voor de eigen bedrijfsvoering zijn hierbij belangrijk: hoe is het nu, wat kan beter en wat voor maatregelen moet men nemen?



Veen produceren/restaureren, conserveren	Productie Buffer-filter- transformatie Habitat/ genenreserve Erfgoed	- Om van veen weer een CO ₂ <i>sink</i> te maken i.p.v een CO ₂ <i>source</i> is vernatting nodig	Het proces is bekend maar hoe kunnen we deze natuurwetenschappelijke kennis voldoende gewicht geven dat deze medebepalend wordt voor de ruimtelijke inrichting? Verweving van klimaatadaptatie en groen kan bewerkstelligen dat landbouw in het veenweidegebied ontmoedigd wordt.
Nieuwe, maakbare bodems ((ver)maakbaarheid), maar ook biotisch 'gevulde' bodems (Huub Reinaarts, Wim van dre Putten – NIOO-CTO, Peter de Ruiters, Alterra)	Productie Buffer-filter- transformatie Habitat/genenreserve Draagkracht Bron/opslag	<ul style="list-style-type: none"> - Behoeft aan nieuwe bodems - Bredere dijken - Hoe manipuleer je bodemleven zo dat de bodem die je wilt hebben ook de functionaliteit krijgt die je wilt? Kun je bodemvorming versnellen? 	<p>Maakbare bodem als deel van de oplossing, bv: bestrijden van plagen door land onder water te zetten (dat is juist de wateroverlast waar we bang voor zijn). Gebeurt in bollenvelden, maar waarom niet in aardappelvelden? Soms ook bewust NIET kiezen voor maakbaarheid.</p> <p>Belangrijk is te weten hoe de transitie van bodems kan worden begeleid. Hiervoor is empirische en modelmatige kennis nodig van de sleutelfactoren en de beheersingrepen. Tevens weten hoe klimaatverandering (temperatuur, veranderende natte/droge periodes) inwerkt op de keuze voor beheersingrepen. Dit kan worden gedaan voor herinrichting na bouwwerkzaamheden in stedelijke gebieden (Haaglanden, Schiphol) en ook na de gereedkoming van kunstwerken, zoals nieuwe dijkvormen, maar ook na herinrichting van hoge zandgrondgebieden en rivierbegeleidende systemen in het kader van klimaatadaptatie.</p>
De bodem als leverancier van producten voor de <i>biobased economy</i>	Productie Buffer-filter- transformatie Habitat en genenreserve		



Cluster II			
Ontkoppeling bodemvorming- buffer (sneller en langzamer reagerende delen), ontkoppeling bodem-plant Migratie van bodemorganismen: regulerende functie. wanneer handelen?	Buffer-filter- transformatie Habitat/genenreserve	Ziekten en plagen. Het beheer van exoten kost 2,1 M euro per jaar. Kosten lopen op doordat invasieve soorten in snel tempo binnenkomen.	<ul style="list-style-type: none"> - Nagaan hoe de bodem een reservoir vormt voor ziekten die exotische planten kunnen onderdrukken en hoe lang het duurt voordat deze onderdrukking zich (door middel van snelle evolutie) kan ontwikkelen. De vraag is hoe je deze adaptieve werking van de bodem kunt inschatten en voorspellen en welke beheer/beleidsmaatregelen kunnen worden getroffen om deze adaptieve werking te bevorderen. - Nagaan hoe snel bodemorganismen die een regulerende functie hebben, kunnen migreren, zich vestigen en actief worden en wat daarvan de eventuele neven-effecten zijn op de inheemse vegetatie. - Nagaan wat effecten van klimaatverandering op biotische interacties tussen bodem- en bovengrondse organismen betekenen voor plaagvorming en extinctions in natuurlijke en stedelijke gebieden. Dit kan bijvoorbeeld door een vergelijking te maken tussen relatief geïsoleerde hogere zandgronden en riviersystemen, waar de dispersie van planten en bodemorganismen minder een probleem zou zijn.
Rol van seizoensperiodiciteit van organismen in waterbodems	Buffer-filter- transformatie Habitat/genenreserve		
Evenwichten en kringlopen: buffers en lekken	Buffer-filter- transformatie	<ul style="list-style-type: none"> - Bodems verkeren in delicate evenwichten; bufferfuncties voor C en plantennutriënten; in NL gemaximaliseerd, extreme controle. Hoe veranderen die door plotselinge klimaatveranderingen? - Effecten van klimaatverandering op het bodemwatersysteem. Verdichting a.g.v. biologische processen en afbraak van kleicomplexen kan hetzelfde effect hebben als wielbelasting. - Zoet-zout, maar ook hogere gronden 	Welke frequenties van onderlopen kan het systeem aan, zowel wat betreft drainage als nutriëntenbelasting?

3.1 Doen: maakbaarheid en planvorming met de bodem (cluster I)

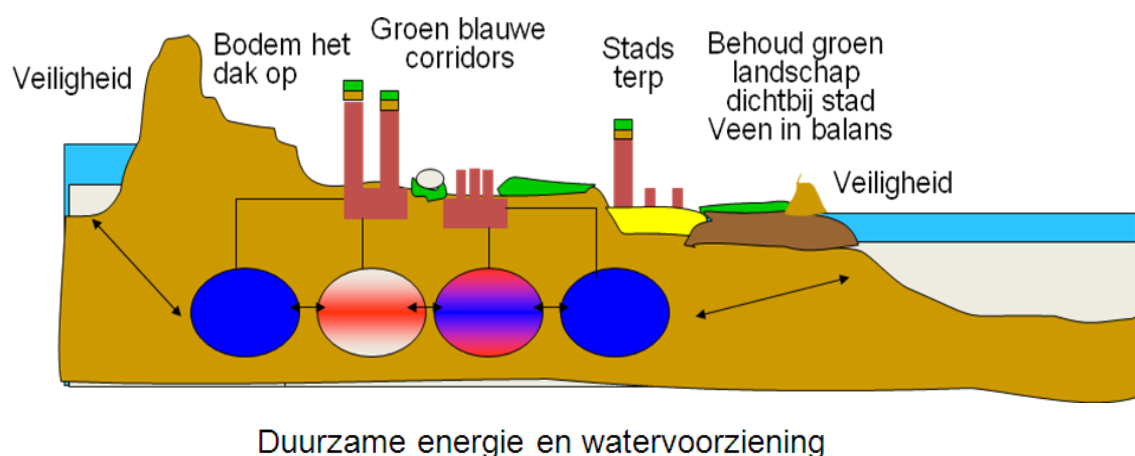
3.1.1 Bodem en ondergrond als klimaatbuffer in rood-groen-blauw overgangen

Achtergrond en concept

De bebouwde omgeving zal zich uitbreiden, met als gevolg een grotere druk op de beperkte ruimte in West-Nederland [structuurvisie Randstad 2040]. Waterstanden gaan omhoog in reguliere en in extreme situaties. Het stedelijk gebied krijgt vaker en meer last van te veel water. Het idee achter het concept 'Bodem en ondergrond als klimaatbuffer in rood-groen-blauwe overgangen' is het maaiveld in stedelijke gebieden op te hogen in dieper gelegen gebieden en in gebieden met maaiveldzakking, en niet terug te geven aan het water zoals in rurale gebieden. Het concept is geënt op de veronderstelling dat we blijven (wonen, werken, leven) in de ge-engineerde omgeving. Op relatief kleine ruimtelijke schaal worden combinaties van wonen, landbouw en natuur gezocht. Ruimtegebruik in het stedelijk gebied wordt vergroot door middel van hoogbouw en ondergrondse infrastructuur met veel ruimte voor groen en water in directe nabijheid van de bewoners [DSP, 2008].

Het concept voorziet in een duurzame energievoorziening in de stad, in de ondergrond als medium, rekening houdend met water en de interactie met zoutwatersystemen. Het bedrijfsleven maakt momenteel een plan voor duurzame energieproductie in de ondergrond. Hiermee kan naar schatting 4 van de 20% in 2020 te realiseren duurzame energie gegenereerd worden in de ondergrond.

Elementen van het concept zijn: veiligheid, bodem het dak op, groen-blauwe corridors in stedelijk gebied, stadsterp, en behoud van groen landschap dichtbij de stad (zie bijvoorbeeld 'Veen in Balans': het opbrengen van gecomposteerde vaste mest en groenafval op het land; [Olie et al., 2008, in: DSP, 2008]).



Figuur 2. Concept Bodem en ondergrond als klimaat buffer in rood-groen-blauw overgangen [Bron: Huub Reinaarts, Deltares].



Bedreiging (moeten adapteren) of kans (aantrekkelijk om te adapteren)?

Het concept beantwoordt zowel aan bedreigingen als kansen. Kansen bestaan in een verhoogd ruimtegebruik in de stad door de kleinschalige combinatie van functies. Bodemfuncties bieden de mogelijkheid de waarde van het bodemwatersysteem op een nieuwe manier in te schatten, en deze mee te nemen in de ruimtelijke inrichting. Behoud van groen landschap bij de steden biedt de mogelijkheid stromen van materialen tussen landschap en stad te gebruiken als bodemgrondstoffen (e.g. sediment, groen materiaal uit landschapsonderhoud organische afvalstromen).

Bedreigingen waaraan het concept beantwoordt, zijn beperkingen aan de functies wonen, werken en leven door verhoogde waterstanden en maaiveld daling.

Maatschappelijk gevoel van urgentie

Het maatschappelijk gevoel van urgentie voor deze adaptatiemogelijkheid is hoog: het schade potentieel in stedelijk gebieden in overstroombaar West-Nederland neemt sterk toe in de periode tot 2040 [MNP, 2007]. Daarnaast is er behoefte aan woningbouw in het gebied, die alleen doorgang kan vinden door het realiseren van een voldoende kwaliteit ondergrond.

Economische belangen

De economische belangen van dit concept zijn groot, zeker gezien het toenemend schade potentieel van het doelgebied voor wat betreft overstromingen en andere effecten van hoge waterstanden. Bovendien kan door inzet van diverse bodemfuncties in dit concept een economisch potentieel gerealiseerd worden (versterkte productiefunctie, energie-opslagfunctie, bodem-grondstoffunctie).

Bijdrage aan klimaatadaptatie in Hotspotregio's

Het concept draagt bij aan klimaatadaptatie in de Hotspotregio's Haaglanden en Rotterdam Rijnmond.

Herkenbaarheid voor belanghebbenden

De structuurvisie Randstad 2040 streeft naar vergroot ruimtegebruik door de ruimtelijke inrichtingsvormen voorgesteld in dit concept en kan gebruikt worden als middel om het concept herkenbaar te maken voor belanghebbenden.

Voorwaarden voor implementatie

Implementatie van het concept vraagt om het meenemen van de genoemde nieuwe deelconcepten in ruimtelijke inrichting: groene corridors, gebruik van de ondergrond, hoogbouw, maaiveldverhoging en faciliteren van aan bodem gerelateerde grondstofstromen.

Kennisvragen

De deelconcepten ondergrond en hoogbouw vragen om:

- Nieuwe kennis van ondergrond en stadsbodems en van het beheer daarvan.
- Nieuwe technieken en technologie voor het ondersteunen van infrastructuur op en in slappe bodem zijn nodig.
- Een analyse van mogelijke omslagpunten voor de woon- werk- en leef functies met het oog op klimaatbestendige ontwerpen.
- Onderzoek en kennis naar de maakbaarheid van bodemkwaliteit voor natuur met ecologische en civieltechnische technieken met het oog op verweven van natuur met de stedelijke omgeving.



3.1.2 Functie- en risicodifferentiatie

Achtergrond en concept

In dit concept wordt de ondergrondlaag gezien als onderdeel binnen de ruimtelijke planvorming (lagenbenadering), en nadrukkelijk als bron voor klimaatadaptatie. Bij risicodifferentiatie wordt gedifferentieerd naar de verschillende effecten van klimaatverandering op bodem en ondergrond: vernatting, verdroging, temperatuurschommelingen. De effecten worden vervolgens vertaald naar gevolgen voor ruimtelijke functies en de kwaliteit van de leefomgeving (functiedifferentiatie). Een voorbeeld is de gebiedstypering van de Krimpenerwaard waarbij prioriteiten en voorkeuren voor natte functies zijn gehanteerd bij de ruimtelijke inrichting [Van Beek et al., 2008].

Bedreiging (moeten adapteren) of kans (aantrekkelijk om te adapteren)?

Het concept beantwoordt aan de behoefte aan meer ruimte die ontstaat door klimaatverandering, vooral in stedelijk gebied. Het gaat daarbij om meer ruimte voor waterberging, maar ook meer openbaar groen (in tijden van droogte voor verkoeling, in tijden van te veel aan water voor wateropslag). Daarmee richt dit onderwerp zich nadrukkelijk op kansen om te adapteren. Dit kan door ook de dimensies bodem en ondergrond te betrekken in ruimtelijke inrichting in antwoord op klimaatverandering.

Maatschappelijk gevoel van urgentie

Gevoel van urgentie is aanwezig in de ruimtelijke planvorming. Toch wordt dan al snel naar 'water' gekeken en niet direct naar 'bodem en ondergrond'.

Economische belangen

Het onderwerp heeft directe economische belangen: het gaat immers om de bescherming van ruimtelijke functies, dan wel het meebewegen van ruimtelijke functies met klimaatverandering en klimaatadaptatie. Het betrekken van bodem en ondergrond in het plannen van functies kan schade aan bestaande ruimtelijke functies beperken en mogelijkheden bieden voor additionele en nieuwe ruimtelijke functies.

Bijdrage aan klimaatadaptatie in hot spot regio's

Hotspotregio's, zowel bebouwd als onbebouwd, zouden dit concept integraal mee kunnen nemen in het zoeken naar adaptatiemogelijkheden.

Herkenbaarheid voor belanghebbenden

Door de analyse van effecten op bodem/ondergrond en de gevolgen hiervan voor ruimtelijke functies kan inzichtelijk gemaakt worden voor belanghebbenden in hoeverre functie- en risicodifferentiatie wenselijk is. Het inzicht wordt vergroot door het in kaart brengen van economische effecten op/van verschillende ruimtelijke functies.

Voorwaarden voor implementatie

Voorwaarden voor klimaatadaptatie met bodem en ondergrond in relatie tot ruimtegebruik zijn het in beeld brengen van risico- en functiedifferentiatie (verschillen tussen Hoog- en Laag-Nederland), en het meenemen hiervan in de ruimtelijke planvorming in een vroeg stadium om nadelige effecten bij inrichting en gebruik voor te zijn (structuurvisies (gemeenten, provincies) en gebiedsontwikkelingsplannen). Er moet dan kennis beschikbaar zijn van bodem en ondergrond en de effecten op ruimtelijke functies. Dit proces verloopt het best in directe consultatie met stakeholders.



Kennisvragen

- Vanuit de ruimtelijke ordening is de ondergrondlaag in beeld, maar klimaatverandering wordt nog in sterke mate vertaald in termen van water en niet in termen van bodem en ondergrond.
- Er is weinig kennis bij ruimtelijke ordenaars over welke effecten de bodem met zich meebrengt t.a.v. klimaatverandering, welke risico's dit met zich meebrengt, welke effect het heeft op ruimtelijke functies.

3.1.3 Meervoudig ondergronds ruimtegebruik

Achtergrond en concept

De gedachte achter deze adaptatiemogelijkheid met de bodem is het benutten van de ondergrondse ruimte vanuit de kracht van de ondergrond, die extra bouwruimte, koeling en warmte kan bieden. Ook kan bovengronds meer ruimte worden vrijgemaakt voor waterberging en kansen voor ruimtelijke kwaliteit in de openbare ruimte, en is er minder bovengrondse bodemafdekking ('*soil sealing*').

Bedreiging (moeten adapteren) of kans (aantrekkelijk om te adapteren)?

Er is meer ruimte nodig als gevolg van klimaatverandering, vooral in stedelijk gebied. Meervoudig ondergronds ruimtegebruik biedt een kans om directe bodemfuncties van bodem en ondergrond te benutten (koeling, warmte, opslag, infiltratie), maar ook de kans op extra (bouw)ruimte (draagkrachtfunctie).

Maatschappelijk gevoel van urgentie

In toenemende mate wordt naar de bodem en ondergrond gekeken als integraal onderdeel van ruimtelijke planvorming. De urgentie om bodem en ondergrond te betrekken in klimaatadaptatie wordt niet in alle gevallen gevoeld. Ook blijkt in veel gevallen dat meervoudig ondergronds ruimtegebruik op korte termijn als een dure oplossing gezien wordt, maar op lange termijn kunnen de netto baten juist positief zijn.

Economische belangen

Dit onderwerp kan zeker bijdragen als het gaat om positief saldo van kosten en baten. Zeker daar waar het lange termijn effect positief uitwerkt. Door de kracht van de ondergrond te benutten is er meer ruimte, letterlijk en figuurlijk, voor andere functies zowel boven- als ondergronds, en daarmee in totaal meer economisch potentieel.

Bijdrage aan klimaatadaptatie in Hotspotregio's

Door kansen van ondergrondse ruimte mee te nemen in afwegingen omtrent klimaatadaptatie wordt een nieuwe dimensie toegevoegd aan het speelveld. Dit vergroot de speelruimte. Het gaat hierbij vooral om stedelijke gebieden.

Herkenbaarheid voor stakeholders

Door meervoudig ondergronds ruimtegebruik in de planvorming een expliciet onderdeel te maken van afwegingen ontstaan meer oplossingsrichtingen voor het gebied voor klimaatadaptatie.

Voorwaarden voor implementatie

Een belangrijke voorwaarde voor ondergronds en meervoudig ruimtegebruik is een afwegingskader voor de ondergrond op korte EN lange termijn. Kennis van bodemfuncties en ondergronds ruimtegebruik is beschikbaar. Deze kan in het traject benut worden. Wel is een analyse nodig van in hoeverre bodemfuncties verenigbaar zijn door het jaar heen.



Kennisvragen

- Bodem is nog maar beperkt in beeld binnen de ruimtelijke ordening; in veel gevallen wordt ondergronds ruimtegebruik als een 'dure oplossing' ervaren (hoge kosten op korte termijn, baten pas op lange termijn).
- Effecten van ruimtegebruik in relatie tot bodem en klimaatveranderingen zijn niet in beeld.
- Ook de huidige inrichting van de fysieke ondergrond zelf is nog maar beperkt in kaart gebracht.

3.1.4 Veengronden: klimaatbestendig beheer, produceren en restaureren

Veenweidegebieden in Nederland

Achtergrond en concept

De Nederlandse bodem heeft een hoog organisch stofgehalte vooral in de veengebieden. Door ontwatering van veen treedt oxidatie op waardoor de maaiveldhoogte in veenweidegebieden daalt [Jansen et al., 2008], en veranderingen in de waterhuishouding optreden die leiden tot bijvoorbeeld verzilting. Effecten op het functioneren van bodemecosystemen zijn nog niet goed bekend. Voorgesteld wordt te zoeken naar een indicator (of set van indicatoren) in termen van bodembiodiversiteit die iets zegt over duurzaam bodembeheer (landbouw en natuurbeheer) en klimaatverandering, bijvoorbeeld via de waargenomen veranderingen en dynamiek van organische stof. Idealiter zou de indicator door landgebruikers zelf gebruikt moeten kunnen worden, ook in combinatie met maatregelen die zij nemen t.b.v. groene diensten, maatregelen in het kader van het GLB en certificering [Moolenaar, SKB].

Daarnaast biedt klimaatverandering kansen om de hoeveelheden CO₂ die in de veenweidegebieden kunnen worden opgeslagen, en het methaan dat hieruit kan ontstaan, uit de atmosfeer te houden door een bodem- en grondwaterbeheer dat is gericht op aangroei (*sink*) in plaats van oxidatie (*source*) van organische stof [Dutch Soil Platform, 2008]. Het vermijden van emissies van niet – CO₂ broeikasgassen lachgas en methaan hierbij is een punt van aandacht.

Bedreiging (moeten adapteren) of kans (aantrekkelijk om te adapteren)?

Het veenweidegebied, en in het bijzonder het Groene Hart, is een gebied onder druk: verstedelijking en versnippering nemen toe. Het gebied vervult meerdere functies, die voor een deel met elkaar conflicteren. Daarnaast wordt dit gebied in sterke mate geconfronteerd met de gevolgen van klimaatverandering, zoals verandering in de waterhuishouding en versterkte oxidatie van het veen en daarmee gepaarde gaande bodemdaling van 2 tot 20 mm per jaar. Door bemaling blijft landbouwproductie toch mogelijk; het polderpeil volgt daarbij de bodemdaling doordat tot 40 tot 90 cm beneden maaiveld wordt bemalen. Echter, door deze bodemdaling en de (voorziene) stijging van de waterspiegel als gevolg van klimaatveranderingen worden de peilverschillen tussen de polders met landbouwproductie en de afvoerende waterboezems en rivieren steeds groter. Verder vindt toenemende interne verzilting in de droogmakerijen in het Groene Hart plaats met afwenteling op het omliggende veenweidegebied. Het waterbeheer (opvangen/vasthouden en inlaten van water), alsmede het bodembeheer en het grondgebruik zullen zich aan de klimaatverandering moeten aanpassen.

Bodembiodiversiteit is een maat voor de bodemkwaliteit en dus voor de duurzaamheid van het beheer van zowel natuur- als landbouwgebieden. De verandering van de bodembiodiversiteit geeft een beeld van de effectiviteit van beheersmaatregelen. Dit zijn maatregelen voor een duurzaam landbouwkundig gebruik, voor een goede natuurontwikkeling en maatregelen in het (grond)waterbeheer die verdere oxidatie van het veen moeten voorkomen.

De prioriteit van de bodemgebruikers en –beheerders in het Groen Hart ligt bij de meerwaarde (en ook meeropbrengst) bij bodembeheer waarin het bodemleven steeds meer een centrale



plaats krijgt. Hierbij zou dan dus de agrarische meeropbrengst duidelijk moeten worden of zou de maatschappelijke meerwaarde beloond moeten worden (analoog aan de groen blauwe diensten). Dit zijn diensten die ook passen bij het toekomstbeeld van het Groene Hart en die bijdragen aan het vertragen van de veenafbraak en bodemdaling en het verminderen van de emissie broeikasgassen (kooldioxide, methaan en lachgas).

Maatschappelijk gevoel van urgentie

Het maatschappelijk gevoel van urgentie voor klimaatbestendig beheer van de veenweidegebieden is zeer groot (e.g. Hotspot Veenweidegebieden in Programma Kennis voor Klimaat, Programmabureau Groene Hart). Een ander gevoel van urgentie is de bijdrage aan emissies te reduceren door het omzetten van veenweidegebied van *source* naar *sink*.

Economische belangen

De economische belangen van klimaatbestendig beheer van de veenweidegebieden zijn groot door de waarde van de opslagfunctie voor koolstof die het gebied kan vervullen. Deze waarde is – vooralsnog – minder dan de waarde van landbouwproductie in het gebied. Daarnaast vervult het gebied belangrijke functies in het behoud van biodiversiteit en als in ons cultureel erfgoed met het behoud van het typische veenweidelandschap.

Bijdrage aan klimaatadaptatie in Hotspotregio's

De veenweidegebieden zijn één van de Hotspotregio's in het Programma Kennis voor Klimaat.

Herkenbaarheid voor stakeholders

Het onderwerp wordt al sinds enkele jaren uitgedragen naar stakeholders, bijvoorbeeld in het DiaBOLO project [Smit et al., 2007; Smit en Zwart, 2008], het project Waarheen met het Veen (Alterra), in publicaties zoals "Veenweide 25x belicht" [Rienks en Gerritsen, 2005] en in activiteiten van SKB. Het onderwerp blijkt breed te leven en herkend te worden: provincies, bodembeheerders in landbouw en natuur en kennisinstellingen willen er verder mee.

Voorwaarden voor implementatie

Beheerders (landbouw en natuur) kunnen een sleutelrol spelen bij het ontwikkelen van praktische indicatoren voor duurzaam bodembeheer. Bovendien is het van groot belang om aan te sluiten bij al lopende initiatieven en projecten: zowel met het doel kennis te delen/vermenigvuldigen als financiering te koppelen. De moet gebeuren samen met sectoren op het gebied van klimaat (Kennis voor Klimaat), water (Leven met Water), landbouw (Innovatienetwerk, Transforum) gebiedsontwikkeling (NederlandBovenWater, Groene Hart), en een consortium van kennisaanbieders en ministeries.

Kennisvragen

- Welke praktische beheersmaatregelen zijn er voor een 'klimaatbestendig bodembeheer', in aanvulling op de al bekende ((onderwater)drainage, meststoffen, bodemverbeteraars, handvatten bedrijfsvoering)?
- Is er een (biologische) indicator die zo handzaam is dat deze vaker per jaar door de boer en/of natuurbeheerder zelf gebruikt kan worden, en die gekoppeld kan worden aan groene diensten, GLB-toeslagen, certificering? Op welke ecosysteemdiensten en/of bodemfuncties (met verschillende eisen aan bodembiodiversiteit) moet deze indicator betrekking hebben?



Veengebieden mondiaal

Achtergrond en concept

Veengebieden zijn een reservoir voor water, biodiversiteit en koolstof. Veengronden herbergen mondiaal 528 Gt koolstof, equivalent aan 30% van alle koolstof in de landmassa op aarde en vergelijkbaar met alle koolstof in bossen op aarde, equivalent aan 75% van alle koolstof in de atmosfeer, of 70 maal de huidige jaarlijkse globale emissies van broeikasgassen door het verbranden van fossiele brandstoffen. De opslag van koolstof in veengrond is in principe van lange duur.

Bij drainage veranderen veengronden van een 'sink' in een 'source' van broeikasgassen. In de tropen treedt het verlies van koolstof (2.0 Gt/jaar in totaal, equivalent aan 8% van de wereldwijde uitstoot door het verbranden van fossiele brandstoffen) op door drainage die plaatsvindt bij verandering van landgebruik (1/3) maar vooral ook door brand die ontstaat bij verdroging die volgt op diepe drainage (2/3).



Figuur 3. Natuurlijk veenmoerasbos in de tropen (foto: Henk Wösten).

De uitstoot van CO₂ uit tropische venen neemt veel sterker toe met verlaging van het grondwaterpeil dan in andere, gematigde klimaatzones. Onderzoek naar bodemdaling toont aan dat agrarisch gebruik van veengrond – dus ook plantages – leidt tot het verdwijnen van het veen, terwijl in natuurlijke veenbosmoerassen veen accumuleert.

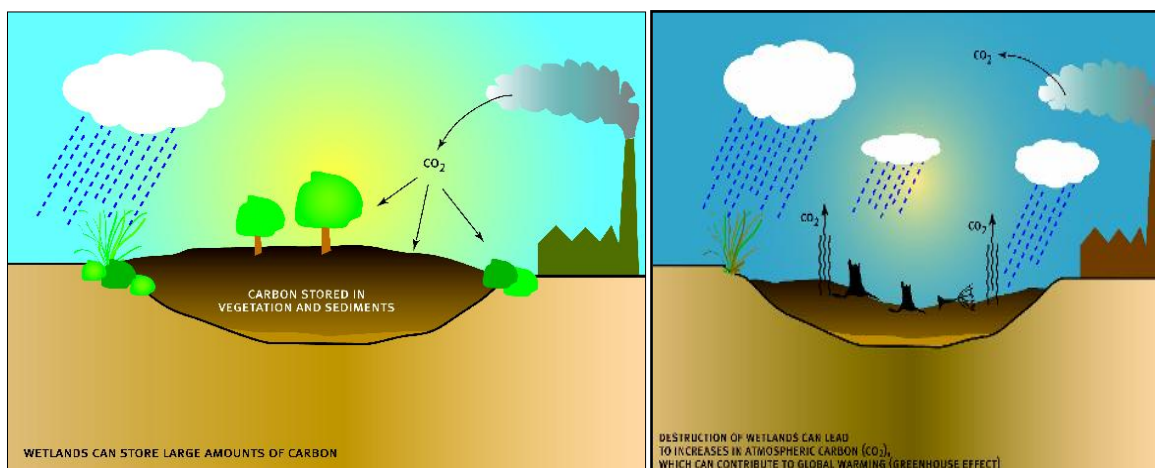
Als gevolg van de verwachte toename van extremen in klimaatomstandigheden komt meer druk op tropische venen. Meer en langere periodes van droogte geven hogere emissies van CO₂ door toename van veenoxidatie en door toename van veenverlies door branden.

In adaptatiestrategieën is waterbeheer een sleutelactiviteit omdat het de oxidatie van veengrond en successievelijke bodemdaling helpt minimaliseren onder een gegeven landgebruik en grondwaterpeil.



Bedreiging (moeten adapteren) of kans (aantrekkelijk om te adapteren)?

In het veenweidegebied lopen we tegen natuurwetenschappelijke grenzen aan. Doorgaan met drainage voor de landbouw betekent immers doorgaan met de cyclus van afbraak en oxidatie. Het proces van ontwatering – veenoxidatie is voldoende bekend. Indien we veenweidegebieden weer onder water zetten dan kan het veen weer een koolstof *sink* worden in plaats van een koolstof *source*. Bovendien kan de nieuwe functie als koolstof *sink* gecombineerd worden met de functie natte natuur.



Figuur 4. Veengronden kunnen veel koolstof opslaan (links), maar degradatie van veengrond leidt tot uitstoot van CO₂, die bijdraagt aan de opwarming van de aarde (rechts). Bron: Henk Wösten.

Maatschappelijk gevoel van urgentie

Op dit moment zakt het veenweidegebied in Nederland met gemiddeld ongeveer 1 cm. per jaar en de zeespiegel stijgt. De maatschappij beseft goed dat het *gat* tussen zee en land steeds groter wordt. Indien we de zakking aan de landzijde kunnen stoppen/beperken dan wordt in belangrijke mate bijgedragen aan het oplossen van een door de maatschappij gevoeld probleem. Technisch gezien kunnen we misschien doorgaan met landbouw in het veenweidegebied, maar waarschijnlijk wordt het maatschappelijk steeds minder acceptabel nu mensen beseffen dat veiligheid in het geding kan komen. Mogelijk wil de maatschappij niet langer de prijs van verminderende veiligheid betalen voor het voortzetten van de landbouw in het veenweidegebied.

Economische belangen

Het waarborgen van veiligheid in het veenweidegebied is waarschijnlijk duurder dan het behouden van landbouwkundige productie. Zo bezien zou het stoppen met landbouw in het veenweidegebied economisch aantrekkelijk kunnen zijn.

Bijdrage aan klimaatadaptatie in hot spot regio's

Veen als koolstof *sink* i.p.v. als koolstof *source* gebruiken levert een aanzienlijke bijdrage aan klimaatmitigatie en vermindert de noodzaak van adaptatie. Een schatting is dat het onderwater zetten van het veenweidegebied een CO₂ reductie oplevert die gelijk is aan de Kyoto doelstelling voor Nederland. Deze vorm van adaptatie kan worden toegepast in de hot spot regio 'Ondiepe wateren en veenweidegebieden'.



Herkenbaarheid voor stakeholders

Maaivelddaling als gevolg van veenoxidatie kan herkenbaar gemaakt worden voor stakeholders door middel van visualisaties die de hoogteligging in de tijd weergeven of nog beter door computersimulaties die de daling in de tijd weergeven. Verder is het van belang om in navolging van het IPCC vierde assessment report [IPCC, 2007] de omvang van de emissies van broeikasgassen als gevolg van gebruik van veengebieden – ook in relatie tot de koolstofvoorraad en –vastlegging in bossen – onder de aandacht te brengen van nationale en regionale overheden, van (inter)nationale NGO's en landeigenaren en landbeheerders waaronder internationale bedrijfsleven.

Voorwaarden voor implementatie

De techniek van vernatting is bekend. Voor uitvoering is een nieuwe ruimtelijke inrichting van west Nederland nodig. Dit vraagt om planologie en bestuurlijk draagvlak.

Kennisvragen

- We kennen het biofysisch proces van veenafbraak redelijk goed, maar de vraag nu is hoe we deze kennis gebruiken om ruimtelijk en planologisch tot een andere inrichting te komen.
- Wat is een relevante ruimtelijke eenheid t.b.v. klimaatadaptatie met inzet van veengrond?
- In welke mate zal de veenafbraak veranderen bij de verwachte klimaatverandering met temperatuurverhoging en veranderingen in neerslagintensiteit?

3.1.5 'Smart soils' als stabilisator van ondergrond en waterkeringen

Achtergrond en concept

Scenario's van klimaatverandering voorspellen hogere waterstanden en rivierafvoeren. Er zijn additionele beschermingsmaatregelen nodig tegen verhoogde overstromingsrisico's. Hogere waterstanden geven grotere waterdrukken in bodemwatersystemen, waarbij bodems onder veiligheidswerken en landschap slapper worden. Nieuw bodemmateriaal in de vorm van bijvoorbeeld '*SmartSoils biogrout*' biedt unieke mogelijkheden voor het stabiliseren van de bodem, en vraagt daarnaast minder onderhoud dan conventionele materialen. *Biogrout* is een *in situ* biologische behandeling dat bodems sterker en stijver maakt. Micro-organismen worden samen met nutriënten (urea, CaCl_2) door het doelgebied gespoeld. De micro-organismen produceren calciumcarbonaat dat bodemdeeltjes verkit. Hierdoor kan los bodemmateriaal veranderd worden in stabiele en sterke bodems. Het unieke aan de behandeling is dat de waterdoorlatendheid van de nieuwe bodem nauwelijks beïnvloed wordt. Mogelijk negatieve effecten zijn dat ammoniumchloride bij de behandeling kan lekken en een bedreiging kan vormen voor vegetatie, sommige bodemorganismen en biodiversiteit.

Bedreiging (moeten adapteren) of kans (aantrekkelijk om te adapteren)?

De inzet van *biogrout* voor het stabiliseren van bodems biedt kansen voor klimaatadaptatie. Het gaat immers om het maken van nieuwe bodem met een verhoogde draagkrachtfunctie voor niet alleen veiligheidswerken, maar ook voor infrastructuur en overige bebouwing.

Maatschappelijk gevoel van urgentie

Ondergrondverslapping als gevolg van hogere grond- en oppervlaktewaterstanden is een reëel en nadelig effect van klimaatverandering [De Wit et al., 2008]. Bodemgebruikers worden al geconfronteerd met ondergrondverslapping als gevolg van hogere grond- en oppervlaktewaterstanden (bijvoorbeeld verzakkende woningen). Het gebruik van *biogrout* bij de aanleg van nieuwe veiligheidswerken en infrastructuur, en bij het versterken van bestaande, kan dit risico verminderen.



Economische belangen

Stabiele ondergrond voor infrastructuur voor verkeer en voor waterbescherming en in gebieden voor huisvesting en industrie is van groot economisch belang. Toepassing van innovatieve technieken is naar verwachting sterk kostenbesparend en kan de noodzaak van omvangrijke fysieke ingrepen in landschap en omgeving vermijden en lijkt een zeer aantrekkelijke maatschappelijke en economische optie.

Bijdrage aan klimaatadaptatie in hot spot regio's

SmartSoils biogrout kan als bodemstabilisator in iedere regio naar keuze worden ingezet. De merites zijn het grootst in regio's waarin verslapping van de ondergrond een bedreiging vormt voor veiligheidswerken en infrastructuur.

Herkenbaarheid voor stakeholders

Het gebruik van *SmartSoils biogrout* is een sterk technische adaptatiemogelijkheid. Het herkenbaar maken van de effecten is meest zinvol voor betrokkenen bij het ontwerp en de bouw en bij noodzakelijk geachte aanpassingen van veiligheidswerken en infrastructuur.

Kennisvragen

- De effecten van *SmartSoils biogrout* op biologische bodemkwaliteit, vegetatie en bodem(ecosysteem)functies zijn onvoldoende bekend. Inzicht in deze effecten is nodig om de ecologische veiligheid van *biogrout* te kunnen beoordelen. Het gaat daarbij om de biodiversiteit, natuurwaarden en erosiebestendigheid van de nieuwe bodem.

Voorwaarden voor implementatie

Voor een verantwoord gebruik van *biogrout* moeten de gevolgen op korte en lange termijn voor bodembiota, vegetatie en gewas bekend zijn.

3.1.6 De bodem als leverancier van producten voor de *biobased economy*

Achtergrond en concept

De bodem is de bron van (vrijwel) alle biomassa productie nu en in de toekomst en is goed beschouwd de basis onder de *biobased economy*. De druk op het gebruik van de bodem neemt nu sterk toe door de ambitie om:

- De afhankelijkheid van fossiele brandstoffen te verminderen. Nieuwe ontwikkelingen maken het in hoog tempo mogelijk om organische reststoffen om te zetten in waardevolle grondstoffen inclusief energie.
- Broeikasgasemissies te reduceren. De bodem kan zowel een bron zijn van broeikasgassen als deze vastleggen.
- De bodemkwaliteit op peil te houden. Tot dusver geschiedde dit vooral door te terugvoeren van gewasresten en mest maar biofuel by-products (BBP's) en andere bio-wastes komen nadrukkelijk meer in beeld.

Daarom doen zich nieuwe vragen voor naar mogelijke synergie en trade-offs tussen:

- productie van bio-brandstoffen en biomassa als grondstof voor chemie
- emissies en vastleggen van broeikasgassen
- management van organische afval- en reststoffen
- herstel bodemdegradatie en bodemconservatie.



Bedreiging (moeten adapteren) of kans (aantrekkelijk om te adapteren)?

De optimalisatie van de inzet van biomassaproductie voor de *biobased economy* biedt kansen voor het gebruik van bodemfuncties (productiefunctie, transformatiefunctie) voor klimaatadaptatie.

Idealiter legt de bodem netto broeikasgassen vast bij een minimale input van organische stof waarbij de bodemkwaliteit op peil wordt gehouden, zodanig dat een maximaal mogelijk deel van de biomassaproductie kan worden gebruikt als grondstof in een *biobased economy*.

Voor een goede evaluatie van risico's ontbreekt voldoende inzicht. Bijvoorbeeld over de vraag waarin hoog productieve gronden van marginale gronden verschillen, hoe effectief het gebruik van marginale gronden voor productie van energie en biomassa is, en hoe die productie effectiever zou kunnen worden opgezet. Vanuit dit perspectief is het wenselijk om ontbrekende kennis op te bouwen over die kwantiteit en kwaliteit van de organische stof die de (verschillende typen) bodem nodig heeft om duurzaam biomassa te kunnen produceren.

Maatschappelijk gevoel van urgentie

Het maatschappelijk gevoel van urgentie voor het verminderen van onze afhankelijkheid van fossiele brandstoffen, en ook voor de reductie van broeikasgasemissies, is groot. Het is minder groot als het gaat om het beheersen van organische reststromen en het beschermen van bodemkwaliteit en vermijden van bodemdegradatie.

Economische belangen

De inzet van biomassaproductie voor de *biobased economy* is van groot economisch en maatschappelijk belang gelet om de ambitieuze politieke nationale en internationale doelstellingen op dit gebied. Dit geldt ook voor de inzet van de bodem in de netto opslag van CO₂ in organische stof in de bodem. Een economische waardering van de mogelijkheid voor het behoud van bodemkwaliteit is lastiger te geven en is sterk afhankelijk van de kostenontwikkeling van fossiele energie en grondstoffen.

Bijdrage aan klimaatadaptatie in hot spot regio's

De inzet van biomassaproductie onder meer in een *biobased economy* in combinatie met netto koolstofopslag en behoud en versterking van bodemkwaliteit is niet alleen mogelijk in traditionele landbouwgebieden op de hogere gronden in Nederland maar ook in veenweidegebieden grenzend aan economische centra in West Nederland en biedt economisch perspectief.

Herkenbaarheid voor stakeholders

Binnen dit thema is het niet alleen zinvol maar ook nodig om groepen van stakeholders bijeen te brengen die elkaar niet kennen vanuit bestaande economische (aan landbouw en natuur gerelateerde) activiteiten bij producenten en verwerkers van afval- en reststromen in Nederland maar ook nieuwe spelers in de productie en verwerking van biomassa (biofuels en chemische industrie).

Kennisvragen

Biomassaproductie

- Welke bestaande en nieuwe combinaties van bodem, gewassen en klimaat kunnen worden benut en welke oogst van biomassa is mogelijk en wenselijk als grondstof voor chemie en energie?



Bodemkwaliteit

- Welke bodemkwaliteitsparameters zijn belangrijk voor duurzame hoogwaardige productiviteit (b.v. bodemstructuur, bodemvruchtbaarheid, kationen-uitwisselend vermogen en watervasthoudend vermogen)?
- Welke component(en) van welke gewasdelen en welke (innovatieve) meststoffen uit biobased productie dragen wezenlijk bij aan deze kwaliteitsparameters? Zijn dit vooral de meer resistente componenten zoals lignine in planten of juist ook (hemi)cellulose, eiwitten, vetten, mineralen en combinaties daarvan?
- Zijn er componenten die zonder uiteindelijk verlies van bodemkwaliteit uit gewasresten verwijderd kunnen worden? Zo ja, zijn deze componenten interessant voor de *biobased economy*?
- In welke gewassen treffen we deze componenten vooral aan? Zijn deze componenten op een economisch rendabele wijze te scheiden?
- Zijn er industriële modificaties mogelijk van gewascomponenten die tot een verdere verbetering van bodemkwaliteit kunnen leiden?
- Zijn er ook andere grondstoffen dan gewasresten die we voor dit doel kunnen toepassen?
- Hoe kan het management van organische afval- en reststoffen bijdragen aan behoud en herstel van bodemkwaliteit en duurzaam bodembeheer?

Broeikasgasemissies

- Op welke wijze en in welke mate draagt de gewenste ontwikkeling bij aan (emissie)doelstellingen in het kader van energie- en klimaatbeleid, hoe kunnen netto emissies van broeikasgassen zo klein mogelijk blijven en hoe kan worden bijgedragen aan vasthouden en vastleggen van koolstof in de bodem?

Randvoorwaarden

- Welke institutionele en wettelijke randvoorwaarden zijn gewenst?

Voorwaarden voor implementatie

Het werk bouwt voort op studies die een deel van de problematiek al in ogenschouw hebben genomen, zoals Hanegraaf et al. [2007], Marmo [2008], Marris [2006] en Lal [2004], maar geen integraal kader hebben geschetst. Hiertoe is het gewenst dat kennisgebieden die tot heden weinig interactie hadden, nauw samenwerken op de deelgebieden van componenten in gewasresten ten behoeve van BioBased Economy toepassingen en bodemkwaliteitsbehoud, ontwikkelingsscenario's voor de korte en lange termijn en inpassing van de biomassa productie in de bestaande bedrijfsvoering en productieketens en in wettelijke kaders.

3.1.7 Van 'Neder'land naar 'Hoger'land anno 2080

Achtergrond en concept

In het concept van 'Neder'land naar 'Hoger'land anno 2080 worden onderdelen van bedrijfsactiviteiten in laaggelegen West Nederland ontmoedigd, en in hoger gelegen delen van het land gestimuleerd.

Bedreiging (moeten adapteren) of kans (aantrekkelijk om te adapteren)?

Wie de 'Economische hittekaart van Nederland' bekijkt, (een studie voor EZ) wordt doordrongen van de grote verschillen tussen regio's in economische kracht en waarde in Nederland, met als grote uitspringer het westen. Effecten van klimaatveranderingen zullen dus daar ook economisch de grootste impact hebben, positief of negatief. Klimaatverandering in Nederland in de komende jaren houdt in: stijging van de zeespiegel, (drink)watervoorziening kan tijdelijk problematisch zijn, zoute kwel in kustgebieden, etc. Sommige van deze veranderingen kunnen



gunstig zijn, andere zijn ongunstig. Voor het behoud van economie, veiligheid en leefbaarheid op de lange termijn is het zinvol na te denken over hoe de toenemende concentratie van economische activiteiten en leven in het westen van Nederland doorbroken kan worden.

Maatschappelijk gevoel van urgentie

Het urgentiegevoel is niet groot. De geschiedenis leert dat een urgentiegevoel pas komt na een ramp en zeker indien er (veel) dodelijke slachtoffers en hoge kosten zijn. Maar dat ontslaat de wetenschap er niet van nu een denkoefening uit te werken van een aantal calamiteiten of rampen en de (her)inrichting van Nederland daarop aan te passen. Dit vraagt onderzoek naar investeringskosten en afschrijvingskosten van functies in West Nederland en geschikte momenten om te handelen en over te stappen naar andere locaties. Deze optie wordt al gauw als onmogelijk beschouwd. Het verplaatsen van bedrijven gebeurt echter al in de praktijk: zie de glastuinbouw of veehouderij maar ongetwijfeld ook in industrie en handel.

Economische belangen

De economische belangen van deze adaptatiemogelijkheid zijn groot vanwege de grote verwachte impact op de economische waarde van ligging in laaggelegen West Nederland. Het lijkt zinvol de keuze voor het verplaatsen van economische activiteiten te maken voordat activiteiten duur en uiteindelijk verdwijnen als gevolg van klimaatverandering.

Bijdrage aan klimaatadaptatie in Hotspotregio's

Het onderwerp is relevant voor alle Hotspotregio's, zowel die gelegen in het Westen als de hotspot op drogere zandgronden. Die laatste zijn mogelijk ontvangers van een ruimtelijke functies.

Hoe kan het onderwerp herkenbaar worden gemaakt voor stakeholders?

Het is van belang om stakeholders te betrekken in denkoefeningen over de herinrichting van laaggelegen versus hooggelegen Nederland.

Kennisvragen

- Welke economische activiteiten lenen zich voor verplaatsing naar hoger gelegen delen van het land? Welke bodemfuncties worden daarbij aangesproken? Wanneer is verplaatsing aan de orde en hoe economisch te steunen of mogelijk te maken

Voorwaarden voor implementatie

Eerste voorwaarde voor implementatie is een omslag van denken bij ruimtelijke planvorming die uitstijgt boven bestaande belangen. Dit vraagt een multidisciplinaire groep van betrokkenen bij de planvorming.



3.2 Bodem ontdekken, realiteitsdenken over maakbaarheid (cluster II)

3.2.1 Maakbaarheid van biotisch optimaal functionerende bodems

Achtergrond en concept

De biologische samenstelling van de bodem speelt een belangrijke rol in de ontwikkeling van natuurlijke vegetatie en in de regulering van ondergrondse en bovengrondse ziekten en plagen in de natuur en in plantaardige en dierlijke productiesystemen. Klimaatverandering beïnvloedt de biologische samenstelling van de bodem en dus ook het functioneren van de bodem. Van deze invloeden is wel het nodige bekend uit bodemopwarming experimenten, maar er is nog maar weinig bekend over de invloed van areaalverschuiving van soorten, die momenteel massaal plaatsvindt. Tevens is weinig bekend van de doorwerking van klimaateffecten in de ont koppeling van voedselketens, doordat inter-acterende soorten verschillend reageren op opwarming en de bijbehorende veranderingen in abiotische omstandigheden (bijvoorbeeld droogte en hevige regenval).

Belangrijke effecten van klimaatverandering kunnen zijn:

- Voedselketeninteracties worden verstoord doordat de kwaliteit en timing van het ingebrachte organische materiaal verandert. Hiermee verandert de bodem als een *sink* voor CO₂, maar er kunnen ook grote veranderingen optreden in de *top-down* regulering van ziekten en plagen, of doordat nieuwe plagen uitbreken.
- Voedselketeninteracties worden verstoord doordat soorten in een voedselketen verschillen in hun response op temperatuurverhoging, waardoor predator-prooi relaties worden verstoord en er uitbraken kunnen plaatsvinden van ziekten en plagen.
- Veranderingen van leefgebied (*range shifts*) maken dat soorten verdwijnen en andere soorten binnenkomen. Bovengrondse organismen, zoals gewervelde dieren, insecten en planten, zullen waarschijnlijk sneller hun leefgebied kunnen veranderen dan bodemorganismen. Het is nu al bekend dat nieuwe plantensoorten hierdoor kunnen loskomen van hun natuurlijke belagers in de bodem, maar het is niet bekend hoe snel de bodem hierop kan reageren en haar onderdrukkingsvermogen naar nieuwe planten weer kan opbouwen. Ook kunnen plantensoorten loskomen van hun begeleidende/voorwaardelijke soorten zoals mycorrhiza in de bodem. Kennis hierover is nodig om te kunnen voorspellen hoe de biodiversiteit van de natuurgebieden in de toekomst moet worden beheerd en welke maatregelen momenteel al moeten worden genomen.
- De veranderingen in de bodem en hun effecten op bovengrondse interacties zijn een netto resultaat van directe veranderingen in de temperatuur en de bijbehorende abiotiek (verdroging) en van soorten die verdwijnen of verschijnen. Er is al wel steeds meer bekend over dat interacties in de bodem bovengrondse processen sturen, maar het is nog niet bekend hoe klimaatverandering deze processen beïnvloedt.
- Aantasting van de seizoensperiodiciteit van organismen in bodems, zoals in microbiële matten. De organismen in deze matten hebben een rustperiode nodig. Zodra deze door klimaatverandering te kort wordt, kunnen ze hun functie niet meer goed vervullen, met troebel water tot gevolg (turbidische systemen).

Bedreiging (moeten adapteren) of kans (aantrekkelijk om te adapteren)?

Biotisch functionerende, maakbare bodems kunnen via verschillende bodemfuncties worden ingezet voor klimaatadaptatie en beantwoorden aan zowel bedreigingen als kansen. Drie voorbeelden:

- Nieuwe, biotisch functionerende bodems kunnen ontworpen worden, en worden ingezet voor de productie van biomassa of voor het filteren van verontreinigd water (kansen voor



productie- en filterfuncties). Dit type adaptatie noemen we transitie, ofwel de (ver)maakbaarheid van de bodem. Hierbij ligt de nadruk op het biotische aspect van de bodem, omdat vrijwel alle bodemfuncties bestaan dankzij bodemleven en biologische activiteit.

- Klimaatverandering leidt tot ont koppeling van sneller en langzamer reagerende onderdelen van het ecosysteem bodem. Sneller reagerende onderdelen zijn herbivoren, pathogenen en symbionten. Langzamer reagerende delen zijn bodemorganismen die bij de afbraak van strooisel en organische stof betrokken zijn. Het is niet bekend hoe deze ont koppeling doorwerkt in klimaatadaptatie. Een voorbeeld is de vertraagde reactie van regenwormen op de droogte van afgelopen jaar. Als de reactiesnelheden bekend zijn, kunnen de verschillend reagerende delen van de bodem worden ingezet voor behoud en herstel van essentiële bodemfuncties.
- Door klimaatverandering komen nieuwe soorten vanuit vooral warmere gebieden naar Nederland (migratie). Deze soorten kunnen gaan woekeren, en hebben (nieuwe) effecten op onze herbivoren. Van exoten is bekend dat ze de nutriëntenkringlopen in hun nieuwe leefgebied kunnen versnellen, maar er is nog maar weinig bekend van hoe *range-shifts* van plantensoorten dit doen. Immers, die planten komen uit zuidelijkere gebieden en hebben een chemische samenstelling die sterk kan verschillen van die in Nederland. De bodem heeft een regulerende functie op inheemse plantensoorten, doordat de abundantie van de meeste plantensoorten door bodemziekten wordt onderdrukt. Echter, invasieve exotische planten, zoals de Amerikaanse vogelkers die uit Noord-Amerika komt, maar ook de reuzenbereklaauw die uit de Kaukasus afkomstig is, zijn ontsnapt aan deze onderdrukkingsmechanismen; dit draagt in belangrijke mate bij aan het woekergedrag dat deze soorten vertonen en woekering verandert de kringlopen van stikstof en fosfor, waardoor het grond- en oppervlaktewater kan worden verontreinigd door uitspoeling. Een biotisch optimaal functionerende bodem kan worden ingezet voor het reguleren van deze soorten (antwoord op bedreiging; habitatfunctie) en heeft daardoor ook een beschermend effect op de waterkwaliteit.

Maatschappelijk gevoel van urgentie

De regulerende werking van de bodem ten aanzien van vegetatiesamenstelling, ziekten en plagen is een belangrijke *ecosystem service*. Sterke wisselingen in soortensamenstelling van de leefomgeving en uitbraken van ziekten en plagen werken destabiliserend naar de samenleving. Het feit dat bodems momenteel zo veel van dit soort sterke wisselingen onderdrukken, wordt doorgaans als een gegeven beschouwd; de meeste mensen zijn zich niet bewust van dit soort regulerende activiteiten. Pas zeer recent is aangetoond dat biologische invasies van planten voor een belangrijk deel veroorzaakt worden doordat de exoten zijn ontsnapt aan hun natuurlijke bodemziekten.

Planten reageren sterk op de netto balans tussen positieve en negatieve interacties. Positieve interacties betreffen vrij levende en symbiotische micro-organismen en biologische omzetting van organische stof en mineralisatie. Negatieve interacties worden veroorzaakt door ziekten en plagen. Invasieve exoten hebben relatief meer positieve dan negatieve interacties met het bodemleven, waardoor hun invasiviteit wordt versterkt.

Economische belangen

Met klimaatverandering komen steeds meer nieuwe soorten planten en dieren naar het noorden en we staan aan het begin van een invasiegolf, waarvan we niet weten hoe we daar met beheer gericht en verstandig mee om moeten gaan. De keuze is tussen bestrijden of begeleiden. Momenteel weten we te weinig om goed te kunnen begeleiden, terwijl bestrijden veel geld kost en geen afdoende oplossingen oplevert; per jaar wordt voor meer dan 1 miljard euro aan bestrijding van exoten uitgetrokken. Door klimaatverandering zou dit bedrag fors omhoog



kunnen gaan. De kennis die met dit type onderzoek wordt opgedaan, kan direct worden ingezet, hetgeen noodzakelijk is, omdat natuurbeheer altijd een kwestie is van lange adem.

Bijdrage aan klimaatadaptatie in hot spot regio's

Biotisch optimaal functionerende bodems kunnen worden ingezet voor klimaatadaptatie door transitie en het begeleiden van ontkoppeling en migratie in gebieden met natuur, bos- en landbouw. Ook voormalige bedrijventerreinen lenen zich voor deze adaptatiemogelijkheden, zoals aangetoond in recent onderzoek van Alterra naar relatie industrie en natuur.

Kennisvragen

- *Verstoring van Voedselketeninteracties* – Welke effecten heeft klimaatverandering op de samenstelling en kwaliteit van de primaire productie in landbouwkundige en (half)natuurlijke ecosystemen?
- *Verstoring van voedselketeninteracties door desynchronisatie* –. Voor het functioneren van voedselketens is het van belang dat de predator-prooi interacties goed gesynchroniseerd verlopen. Als planten zich eerder in het groeiseizoen ontwikkelen dan voor hen relevante bodemziekten, kan de ziektedruk afnemen, maar in het omgekeerde geval neemt de ziektedruk en -schade toe. Als natuurlijke vijanden van de ziekten en plagen zich beter ontwikkelen, nemen de ziektedruk en plaagvorming af, maar als de ziekten en plagen sneller reageren dan hun natuurlijke vijanden, wordt de voedselketen hogerop verstoord, waardoor de ziektedruk juist kan toenemen. Hierbij is ook expliciet aandacht nodig voor de koppeling en ontkoppeling van interacties tussen boven- en ondergrondse organismen.
- *Veranderingen van leefgebied* – kennis is nodig over de snelheid van migratie van soorten en natuurlijke vijanden, gedrag in Nederlandse natuur- en landbouwproductiesystemen, snelheid van adaptatie, gevolgen voor ecologie en kosten van het bestrijden van ziekten en plagen.
- *Effecten van soortendynamiek* – Begrijpen van netto effecten van soorten die verdwijnen uit en soorten die nieuw binnenkomen in bodem, vegetatie en levensgemeenschappen en van de invloed van seizoensdynamiek en -periodiciteit van biologische activiteit in (water)bodems.

3.2.2 Evenwichten en stofkringlopen: buffers en lekken

Achtergrond en concept

Bodems verkeren in delicate evenwichten, zoals voor bufferfuncties voor koolstof en plantennutriënten. In Nederland is deze bufferfunctie maximaal ontwikkeld en oefenen we er extreme controle op uit.

Eenzelfde controle geldt voor onze bodemwatersystemen. Met de toename van nattere winters neemt de behoefte aan inundatiegebieden voor overtollig of overmaat water toe. Is Nederland bestand tegen de extra oplading met fosfor en andere nutriënten in gebieden die langdurig onder water staan? De nutriëntenbalans onder invloed van een veranderend klimaat zou integraal voor terrestrische en aquatische milieus beschouwd moeten worden.

Bijdrage aan klimaatadaptatie in hot spot regio's

Zoet-zout, maar ook hogere gronden.



Kennisvragen

- Hoe veranderen buffers voor koolstof en plantennutriënten door plotselinge klimaatveranderingen?
- Welke frequenties van onderlopen kunnen inundatiegebieden aan, zowel wat betreft drainage als nutriëntenbelasting?

3.2.3 Groene kustverdediging

Achtergrond en concept

Een substantieel deel van de Nederlandse kustwering zal de komende tijd versterkt moeten worden gegeven de verwachte zeespiegelstijging. Het versterken van de duinen en kustvlakten (o.a. via zandopsputting) zal hierbij een prioriteit zijn. Het planten van helm is sinds lang de voornaamste methode om duinzand vast te leggen. Helm groeit onder biotisch and abiotisch zeer lastige omstandigheden. De mogelijkheden om deze methode te optimaliseren zijn in de tachtiger jaren uitgebreid onderzocht bij het NIOO, afdeling Duinonderzoek te Oostvoorne. Echter, in de jaren daarna zijn de randvoorwaarden voor vegetatiebeheer sterk veranderd door de toenemende klimaatverandering en de druk op de kust, waardoor de zandaanvoer, de motor voor helmvitaliteit, sterk veranderd is. Eerste verkenningen laten zien dat er goede mogelijkheden zijn om het vegetatiemanagement van duinen te verbeteren. Hierbij kan gedacht worden aan een beter management van de bodemziekten van helm, een op de ecologische relaties en *remote sensing* gebaseerd model, waardoor zwakke plekken in de vegetatieontwikkeling voorspeld kunnen worden en door verbeterde begeleiding van beheerders. Daarnaast moet de zeewerende functie van zeewerende helmduinen worden verzoend met de belangrijke functie van het binnenduingebied als natuurgebied, waterwinning en recreatiegebied.

Bedreiging (moeten adapteren) of kans (aantrekkelijk om te adapteren)?

Geoptimaliseerd gebruik van helm in duinen biedt de mogelijkheid voor kustverdediging in combinatie met natuur en recreatie. Deze optimalisatie houdt in dat moet worden gezocht naar de best aangepaste ecotypen voor toekomstige zandvastlegging, de oorzaken van de helmdegeneratie, die wellicht wordt veroorzaakt door pathogene bodemschimmels, moeten worden achterhaald, mogelijkheden ontwikkeld voor gebruik maken van natuurlijke (biologische) methoden voor controle van de bodemziekten op met afslag bedreigde delen van de kust en deze informatie bijeen te voegen in een model dat, gekoppeld aan nieuwe *remote sensing* technieken, kan leiden tot een effectief en up to date beslismodel om beheer en onderhoud duurzaam en natuurverantwoord uit te voeren.

Maatschappelijk gevoel van urgentie

Het maatschappelijk gevoel van urgentie is groot. De versterking van de kustwering is heel kostbaar, en biedt tevens bedreigingen en kansen voor andere belangrijke functies van de duinen, zoals natuur en recreatie.

Economische belangen

De economische belangen zijn zeer groot. Niet alleen is de versterking van de kustwering heel duur, ook het aanplanten en onderhouden van een helmvegetatie vergt flinke investeringen van tijd en geld. Met een verbetering van het vegetatiemanagement kan veel geld bespaard worden. Goede zandvastlegging is ook van belang voor het economisch belangrijke achterland. Bijvoorbeeld, in Delfland kan doorstuivend zand grote financiële schade toebrengen aan de kasteelt, omdat het zand de lichtinstraling in kassen beperkt. Nederlandse kennis over kustwering is ook relevant voor het buitenland.



Bijdrage aan klimaatadaptatie in hot spot regio's

De Hotspotregio's liggen bijna allemaal onder zeeniveau en zijn voor hun bescherming volledig afhankelijk van duingebieden.

Hoe kan het onderwerp herkenbaar worden gemaakt voor stakeholders?

Belangrijke stakeholders zijn hier Rijkswaterstaat, natuurorganisaties, de toerismesector en grote aannemers. Deze stakeholders zijn in het algemeen zeer geïnteresseerd in het wel en wee van de duinen.

Voorwaarden voor implementatie

Voor het creëren van een groenere kustverdediging wordt momenteel een verkenning uitgevoerd van de mogelijkheden. Vervolgens zijn pilot experimenten en modelstudies gewenst waarin nieuwe vegetatiemanagement opties getest worden.





4. Synthese

Bodemfuncties blijken een belangrijke rol te spelen in effecten van klimaatverandering op bebouwde en onbebouwde omgevingen in Nederland. Dit rapport bundelt adaptatiemogelijkheden in deze omgevingen die gebruik maken van bodemfuncties. Sommige adaptatiemogelijkheden zijn al bekend, maar kennen nieuwe elementen (bijvoorbeeld klimaatbestendig beheer van veengronden, groene kustverdediging), andere mogelijkheden zijn nieuw (rood-groen-blauwe overgangen, *smartsoils* met *biogrout*).

De gepresenteerde adaptatiemogelijkheden zijn weergegeven in Figuur 5 als functie van die omgeving waarvoor ze geschikt zijn (bebouwd versus onbebouwd) en het type (technische ondersteuning met bodemfuncties – Cluster I danwel het gebruikmaken van geleidelijke veranderingen in bodemfuncties – Cluster II). Sommige adaptatiemogelijkheden hebben aspecten van beide typen.

Clusters I en II 'roepen' verschillende groepen bodemfuncties aan: cluster I vooral de productiefunctie, buffer-filter-transformatie, draagkrachtfunctie en bron-opslagfunctie; Cluster II vooral de buffer-filter-transformatiefunctie en habitat- en genenreservefunctie.

	Cluster I: Doen, maakbaarheid en planvorming met de bodem	Cluster II: Bodem ontdekken, realiteitsdenken over maakbaarheid
Bebouwde omgeving	Bodem en ondergrond als klimaat buffer in rood-groen-blauw overgangen Functie- en risicodifferentiatie Meervoudig ondergronds ruimtegebruik 'Smart soils' als stabilisator van ondergrond en waterkeringen Van 'Neder'land naar 'Hoger'land anno 2080	Functie- en risicodifferentiatie Meervoudig ondergronds ruimtegebruik
Onbebouwde omgeving	Klimaatadaptatie en bodem in ruimtelijke planvorming Veengronden: klimaatbestendig beheer, produceren en restaureren De bodem als leverancier van producten voor de <i>biobased economy</i> Biotisch functionerende, maakbare bodems Groene kustverdediging	Veengronden: klimaatbestendig beheer, produceren en restaureren Biotisch functionerende, maakbare bodems Verschuivingen en periodiciteiten Evenwichten en kringlopen: buffers en lekken

Figuur 5. Adaptatiemogelijkheden met bodem ingedeeld naar omgeving (bebouwd versus onbebouwd) en type (technische ondersteuning met bodemfuncties – Cluster I, versus gebruikmaken van geleidelijke veranderingen in bodemfuncties – Cluster II).



Voor de bebouwde omgeving zijn adaptatiemogelijkheden vooral van het type technische ondersteuning met bodemfuncties. Deze mogelijkheden bieden kansen voor een verhoging van de veiligheid en optimalisatie van het ruimtegebruik en voor het verlagen van het economisch schade potentieel in het lager gelegen deel van Nederland (Tabel 2).

Voor de onbebouwde omgeving zijn adaptatiemogelijkheden uit beide clusters beschikbaar. Ze

Bieden van Kansen	Respons op Bedreigingen
Verhoogd ruimtegebruik door combinatie van bodem(gebruik)functies in stedelijk gebied (wonen, landbouw, natuur, energievoorziening, recreatie, infrastructuur, waterberging)	Beperkingen aan ruimtegebruik door verhoogde waterstanden en maaiveld daling
Afvalbeheer en productie van (bodem)grondstoffen	Verwachte beperkingen aan landbouwproductie in veengebieden als gevolg van maaiveld daling en verzilting
Mogelijkheden voor landbouwkundige en maatschappelijke meerwaarde in veengebieden, verminderen van broeikasgasemissies	Verlies in veiligheid in dalende gebieden
Omzetten van koolstof <i>source</i> in <i>sink</i> in veengebieden; combinatie met natte natuur	Versterking van CO2 emissie uit veengebieden
Bodems gemaakt van nieuwe materialen (bv SmartSoils) bieden een verhoogde draagkrachtfunctie voor veiligheidswerken, infrastructuur en overige bebouwing.	Verslappende ondergrond
Optimaliseren van biomassa productie met tegelijkertijd verbetering van de bodemkwaliteit	Klimaatverandering heeft de grootste economische impacts in het westen van Nederland. Doorbreken van de concentratie van economische activiteiten in dit gebied.
Transitie (vermaakbaarheid) van biotisch functionerende bodems t.b.v. biomassa productie of filteren van verontreinigd water.	Reguleren van woekergedrag van invasieve, exotische planten
Kustverdediging in combinatie met natuur- en recreatiefuncties (groene kustverdediging).	Respons op stijgende zeespiegel door kustverdediging.

hebben betrekking op de inzet van bodemfuncties in natuur- en landbouwgebieden ten behoeve van veiligheid, koolstofvastlegging, en het gezond en duurzaam houden van natuur- en landbouwkundige productiesystemen.

**Tabel 2. Kansen en bedreigingen van klimaatveranderingen waarop de genoemde adaptatiemogelijkheden inspelen.**

Bieden van Kansen	Respons op Bedreigingen
Verhoogd ruimtegebruik door combinatie van bodem(gebruik)functies in stedelijk gebied (wonen, landbouw, natuur, energievoorziening, recreatie, infrastructuur, waterberging)	Beperkingen aan ruimtegebruik door verhoogde waterstanden en maaiveldddaling
Afvalbeheer en productie van (bodem)grondstoffen	Verwachte beperkingen aan landbouwproductie in veengebieden als gevolg van maaiveldddaling en verzilting
Mogelijkheden voor landbouwkundige en maatschappelijke meerwaarde in veengebieden, verminderen van broeikasgasemissies	Verlies in veiligheid in dalende gebieden
Omzetten van koolstof <i>source</i> in <i>sink</i> in veengebieden; combinatie met natte natuur	Versterking van CO2 emissie uit veengebieden
Bodems gemaakt van nieuwe materialen (bv SmartSoils) bieden een verhoogde draagkrachtfunctie voor veiligheidswerken, infrastructuur en overige bebouwing.	Verslappende ondergrond
Optimaliseren van biomassaproductie met tegelijkertijd verbetering van de bodemkwaliteit	Klimaatverandering heeft de grootste economische impacts in het westen van Nederland. Doorbreken van de concentratie van economische activiteiten in dit gebied.
Transitie (vermaakbaarheid) van biotisch functionerende bodems t.b.v. biomassaproductie of filteren van verontreinigd water.	Reguleren van woekergedrag van invasieve, exotische planten
Kustverdediging in combinatie met natuur- en recreatiefuncties (groene kustverdediging).	Respons op stijgende zeespiegel door kustverdediging.

Maatschappelijk gevoel van urgentie

Het maatschappelijk gevoel van urgentie is groot voor adaptatiemogelijkheden die oplossingen bieden voor een toenemend economisch schadepotentieel en verlies aan veiligheid als gevolg van overstromingen in West Nederland. De urgentie voor het versterken van de ondergrond wordt direct gevoeld bij het verzakken van woningen en infrastructuur als gevolg van hogere grond- en oppervlaktewaterstanden.



Dat geldt ook voor adaptatiemogelijkheden die inspelen op het omzetten van veengronden van een bron naar een opslag van broeikasgassen en op een verminderd gebruik van fossiele brandstoffen (bodem als leverancier van producten voor een *biobased economy*). Het gevoel van urgentie voor het beschouwen van bodem en ondergrond in ruimtelijke planvorming is minder groot, omdat dit op korte termijn als dure oplossing wordt gezien (bv meervoudig ondergronds ruimtegebruik), terwijl baten op langere termijn juist wel positief kunnen zijn.

Het maatschappelijk gevoel van urgentie voor het aanpakken van effecten van klimaatveranderingen met gebruikmaking van bodemfuncties is niet groot als het gaat om het verbeteren van bodemkwaliteit, of het herinrichten van Nederland door het verplaatsen van economische activiteiten en wonen naar hogere delen van het land. Ook het inzetten van de regulerende werking van bodem op uitbraken van ziekten en plagen in natuurlijke en plantaardige productiesystemen wordt niet als urgent beschouwd, waarschijnlijk omdat de mogelijkheden hiervoor nog voor een groot deel onbekend zijn, en omdat deze bodemfunctie als 'natuurlijk' gegeven wordt beschouwd. Desalniettemin is het verstandig om tijdig te bepalen in hoeverre het zinvol en nodig is om rond het thema (essentiële) bodemfuncties tijdig mogelijkheden voor aanpassing te ontwikkelen. Op die manier zouden de kosten op lange termijn kunnen worden beperkt en kan het optreden van onverwachte en plotselinge veranderingen - met als gevolg haast en relatief hoge kosten - waarschijnlijk worden vermeden.

Economische belangen

De economische belangen van de kansen en bedreigingen waarop de adaptatiemogelijkheden inspelen zijn vaak direct en groot. Het gaat daarbij om het beschermen van ruimtelijke functies tegen een toenemend schadepotentieel van laaggelegen gebieden in West Nederland, maar ook om een economisch potentieel dat gegeneerd kan worden door slimme combinaties van bodemfuncties (vaak productie, opslag, bron functies van onder meer koolstof en water). Ook de opslagfunctie voor koolstof in veenweidegebieden heeft inmiddels een grote economische waarde gekregen, net als het behoud van biodiversiteit [Braat & Ten Brink, 2008]. De economische belangen van sommige adaptatiemogelijkheden zijn minder evident en blijken pas na verloop van tijd. Zo is het bestrijden van exotische, invasieve plantensoorten voor het beheersen van ziekten en plagen in natuur en plantaardige productiesystemen duur, maar zullen de kosten pas in het oog springen als de invasie van exoten toeneemt.

Voor veel van de genoemde adaptatiemogelijkheden geldt dat de kennis die nu in Nederland beschikbaar is en ontwikkeld wordt, ingezet kan worden in het buitenland en daarmee een economische waarde vertegenwoordigt.

Bijdragen aan klimaatadaptatie in hot spot regio's

De genoemde adaptatiemogelijkheden kunnen worden toegepast in bebouwd en onbebouwd gebied in Nederland, in regio's met verslappende ondergrond, in regio's met kansen voor zowel biomassa-productie ten behoeve van de *biobased economy* als ook voor koolstofvastlegging, in die gebieden waar plaats is voor regeneratie dan wel nieuwe, biotisch functionerende bodems (bijvoorbeeld verlaten bedrijventerreinen zoals Renkums beekdal), en bieden nieuwe dimensies in hoogbouw of ondergrond.

Herkenbaarheid voor belanghebbenden

De genoemde adaptatiemogelijkheden kunnen herkenbaar gemaakt worden voor belanghebbenden door ze op te nemen als onderdeel van processen van ruimtelijke planvorming, door effectanalyses uit te voeren voor ruimtelijke inrichting en door het betrekken van landbouw- en natuurbeheerders in het monitoren van het gebruik van bodemfuncties tbv klimaatadaptatie (bv biodiversiteit in habitat en genenreservefunctie). Voor de meer technisch georiënteerde opties kunnen bedrijven geïnformeerd worden die betrokken zijn bij ontwerp en



bouw van veiligheidswerken en infrastructuur, of die onderdeel zijn van de productieketen in de *biobased economy*.

Voor opties met internationale relevantie (veengronden: productie, restauratie) is het creëren van bewustwording op internationaal niveau noodzakelijk.

Herkenbaar maken voor *stakeholders* is niet voor alle adaptatiemogelijkheden nodig; zo zijn betrokkenen bij de inrichting van het veenweidegebied en bij kustbescherming al goed geïnformeerd over effecten van klimaatverandering in deze systemen, en over de mogelijke adaptaties gebruikmakend van bodemfuncties.

Voorwaarden voor implementatie

Het expliciet meenemen van bodem en ondergrond in ruimtelijke planvorming en bestuurlijk draagvlak zijn voorwaarden voor de implementatie van praktisch alle genoemde adaptatiemogelijkheden. Voor sommige opties zijn (scenario-)analyses van korte en lange termijn effecten van adaptatiemogelijkheden en pilot experimenten noodzakelijk.

Kennisvragen

De implementatie van de adaptatiemogelijkheden vraagt aan de ene kant om nieuwe technische kennis van bodems: over ondergrond en stadsbodems, nieuwe technologie voor het ondersteunen van slappe bodems, over de maakbaarheid van bodemkwaliteit (met ecologische en civieltechnische technieken), over de huidige fysieke inrichting van de ondergrond, over bodemkwaliteitsparameters tbv duurzame hoogwaardige biomassaproductie, en over effecten van klimaatverandering op verstoring van voedselketeninteracties in natuur- en landbouwproductiesystemen.

Aan de andere kant is procesmatige kennis nodig, zoals een overall inventarisatie van beheersmaatregelen voor klimaatbestendig bodembeheer, en hoe kennis over veranderingen in bodemfuncties (bijvoorbeeld veenafbraak door oxidatie) kan worden ingezet om ruimtelijk en planologisch tot een andere inrichting van Nederland te komen.



5. Tot slot: slim gebruik maken van de bodem in klimaatadaptatie

Dit rapport presenteert een State - of - the Art van de kwetsbaarheid, positie en rol van de bodem in Nederland bij aanpassing aan klimaatverandering. We hebben met een groep experts een lijst van bedreigingen en van kansen gemaakt die als leidraad kan dienen voor het opzetten van passende projecten in het programma Kennis voor Klimaat.

Nederland en haar bewoners beseffen dat klimaatverandering invloed heeft op de economie, op de veiligheid en hun leefomgeving, op de productie in land- en tuinbouw, natuur en inrichting van Nederland. Voor veel Nederlanders is bodem een gegeven en weinig zichtbaar betrokken bij of verantwoordelijk voor schade of kwetsbaarheid als gevolg van klimaatverandering. Velen beseffen niet of onvoldoende dat de bodem belangrijke functies vervult voor maatschappelijke sectoren: voor de productie van grondstoffen voor voedsel, dieren en voor brandstof en chemische toepassingen, voor het reinigen en tijdelijk opslaan van water en stoffen die we aan de bodem toevoeren. We zien water op het land, maar realiseren ons niet wat er ondergronds zit en wat daarmee gebeurt. Bodem helpt ons met het opslaan en benutten van energie, van afval en van broeikasgassen, als fysieke drager van al onze activiteiten op land en herbergt ons cultureel erfgoed uit het verleden. Maar we beseffen ook vaak niet dat de bodem leeft, en organismen herbergt die van groot belang zijn voor natuurlijke en landbouwkundige productiesystemen en voor onze eigen gezondheid.

Deze studie biedt een venster op de vele mogelijkheden om bij adaptatie slim gebruik te maken van die bodem. Bij deze analyse is gebruik gemaakt van drie invalshoeken: maakbaarheid, planvorming en realiteitsdenken. Maakbaarheid wil zeggen dat we bodem kunnen veranderen. Planvorming wil zeggen dat we bodem op een bepaalde plaats bestemmingen kunnen geven. Realiteitsdenken wil zeggen dat we ons bewust worden en zijn van de mogelijkheden om de bodem in te zetten voor behoud van een gezonde, veerkrachtige en duurzame samenleving. Veel van de gekende kwetsbaarheid bij klimaatverandering gaat uiteindelijk over teveel of te weinig water op de verkeerde plek op het verkeerde moment. We laten hier zien dat veel van de oplossingen en kansen vroeg of laat gebruik maken van bodems en bodemeigenschappen voor opzetten van adaptatie. Een aantal van deze mogelijkheden ligt voor het oprapen, en hebben we hier gerangschikt onder “Doen, maakbaarheid en planvorming met de bodem”. Daarnaast laten we zien dat in samenhang met water of met ontwikkeling van een *biobased economy* de bodem slimme mogelijkheden – zoals smart soils – om nieuwe kansrijke mogelijkheden te ontdekken of via onderzoek realiteitswaarde aan plannen te koppelen.

De maatschappelijk gevoelde urgentie over adaptatie aan klimaatverandering is hoog. Rond het thema aanpassing en bodem is dat gevoel minder evident. Dit is ongetwijfeld het gevolg van weinig zichtbare veranderingen in de bodem of van het trage tempo van die veranderingen. Het ontbreken van een gevoel van urgentie om de bodem te betrekken bij klimaatadaptatie heeft ook te maken met het sterke gevoel dat bodem oneindig maakbaar is, en de inrichting van ons land niet hoeft te beperken (de zogenaamde “bodem volgt functie” benadering). Dit is te verklaren uit de Nederlandse traditie van bodemgebruik.

Om bovenstaande redenen is het zeker nu verstandig om te bepalen of dat relatieve gevoel van zekerheid over continuering van bodemfuncties wel voldoende gefundeerd en realistisch is. De bodem onder onze voeten verandert mee met het klimaat. Het is maatschappelijk en economisch van groot belang om tijdig kwetsbaarheid van bodemfuncties voor verandering van klimaat vast te stellen. En, om die tijdshorizon en die momenten te kiezen waarop eventuele aanpassing nog mogelijk is tegen maatschappelijk acceptabele ingrepen en acceptabele kosten. We denken dat in deze rapportage aan Kennis voor Klimaat voldoende aangrijpingspunten



worden geboden om vol vertrouwen aanpassing aan klimaatverandering met gebruik van bodems en bodemfuncties mogelijk te maken.



6. Referenties

Blum, W.E.H. (2006). Soil Resources – The Basis of Human Society and the Environment. *Die Bodenkultur* 57 (4), 197-202.

Braat & Ten Brink (2008). The Cost of Policy Inaction.

COM(2002)179 final. Towards a Thematic Strategy for Soil Protection – Communication of the Commission to the Council, the European Parliament, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions (16-04-2002).

De Wit, S., W. Jonkhoff, I. Immink, W. Roos, M. Nelisse, & T. Reijs (2008). Verkenning klimaatverandering en infrastructuur. TNO rapport 2008-D-R1117/B, Kennis voor Klimaat.

Dutch Soil Platform (2008). De bodem als partner in duurzame ontwikkeling: een onderzoeksagenda voor de toekomst. Ministeries van LNV, V&W, VROM/Wageningen UR/RIVM/Deltares, 33 pp.

EC (2006). Communication from the commission to the council, the European parliament, the European economic and social committee and the committee of the regions. Thematic Strategy for Soil Protection COM(2006)231 final.

EC (2007). Green Paper from the Commission to the Council, the European Parliament, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions - Adapting to climate change in Europe – options for EU action {SEC(2007) 849} /* COM/2007/0354 final */.

EC (2008). Climate change – Can soil make a difference? Conference Report, Brussels, Thursday 12 June 2008. 30 pp.

EEA-JRC-WHO (2008). Impacts of Europe's changing climate — 2008 indicator-based assessment. *Joint EEA-JRC-WHO report*, EEA, Copenhagen, 2008, European Communities, 2008.

FAO (2007). The State of Food and Agriculture 2007. Part I: Paying farmers for environmental services. Rome.

Fischer, G. (2008). Agricultural Food Production and the Natural Resource Base. Presentation in the Conference Pressures on Prime Agricultural Land, Brussels, 19 November 2008. LNV and Wageningen UR.

Hanegraaf M.C., S.W. Moolenaar, H.W. Elbersen, & E. Annevelink, 2007. Effecten van biomassaketens op landgebruik en bodemkwaliteit. Nutriënten Management Instituut, rapport 1183.

Hermans, T. & J. Verhagen, (2008). Spatial impacts of climate and market changes on agriculture in Europe. Alterra report 1697/PRI report 188. Wageningen UR, 75 pp.

IPCC (2007). IPCC 4th Assessment Report – Climate change 2007.

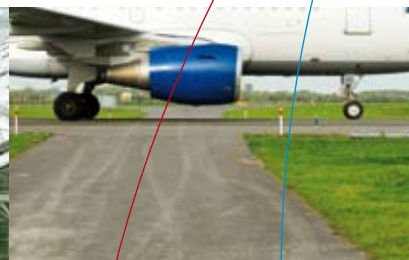
Jansen, P.C., E.P. Querner & C. Kwakernaak (2008). Effecten van waterpeilstrategieën in veenweidegebieden. Een scenariostudie in een gebied met klei-op-veen rond Linschoten, gepubliceerd: 31 Mar 2008, 75 pp,



- Jansen, P.C., E.P. Querner & C. Kwakernaak (2007). Effecten van waterpeilstrategieën in veenweide-gebieden; Een scenariostudie in het gebied rond Zegveld., gepubliceerd: 28 Aug 2007, 86 pp.
- Kirkby, M. (2006). Impacts of environmental changes on soil erosion across Europe. *In: Boardman, J. en Poesen, J. (eds.) Soil erosion in Europe*, pp. 729-742.
- Klimaat voor Ruimte, Leven met Water, Habiforum (2006). Naar een klimaatbestendig Nederland. Samenvatting Routeplanner. 32 pp.
- Kwadijk, J., M. Haasnoot, M. Hoogvliet, A. Jeuken, R. van de Krogt, N. van Oostrom, H. Schelfhout, E. van Velzen, M. de Wit, & H. van Waveren, (2008). H2O, 2008. pp...
- Lal (2004). Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science* 304: 1623-27.
- Marmo, L. (2008). EU strategies and policies on soil and waste management to offset greenhouse gas emissions. *Waste Management* 28: 685-9.
- Marris, E. (2006). Black is the new green. *Nature* 442: 624-6.
- MNP (2007). Nederland Later. Tweede Duurzaamheidsverkenning. Deel Fysieke leefomgeving Nederland. 122 pp.
- Rijkswaterstaat-Waterdienst/Deltares (2008). De klimaatbestendigheid van Nederland Waterland; Beleidssamenvatting fase 1. Verkenning van omslagpunten in beheer en beleid voor het hoofdwatersysteem. Sept 2008. 16 pp.
- Schils, R., P. Kuikman, J. Liski, M. van Oijen, P. Smith, J. Webb, J. Alm, Z. Somogyi, J. van den Akker, M. Billett, B. Emmett, C. Evans, M. Lindner, T. Palosuo, P. Bellamy, R. Jandl, & R. Hiederer (2008). Review Of Existing Information On The Interrelations Between Soil And Climate Change. EU - Final report , 208 p. .
- Smit, A., I. Lubbers, K. Zwart, & D. Brunt (2007). Duurzaamheidsanalyse van bodemgebruik in natuurgebieden. *Alterra-rapport 1626*, Wageningen UR.
- Smit, A. & K. Zwart (2008). Duurzaam bodemgebruik: inzichten en aanbevelingen. *Alterra-rapport 1544.2*, Wageningen UR.
- Van Beek, C., A. Smit, S. Verzandvoort, & R. Rietra (2008). De Bodem onder ons Bestaan. Bloemlezing van het belang van de bodem bij het realiseren van de beleidsdoelen van het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit. LNV-DP en werkgroep LNV Bodem. 68 pp.
- Van Ierland, E.C., K. de Bruin, R.B. Dellink, & A. Ruijs, (red.) (2006). A qualitative assessment of climate adaptation options and some estimates of adaptation costs. Routeplanner deelprojecten 3, 4 en 5, Wageningen UR.
- Van Lynden, G.W.J. (2000). Soil degradation in Central and Eastern Europe: The assessment of the status of human-induced degradation (ver. 1.0). *Report 2000/05, ISRIC*, Wageningen, pp. 13 plus appendices.



Verzandvoort, S. & P. Kuikman (2009). Klimaatverandering, klimaatadaptatie en bodem: inrichting, gebruik, planvorming en maakbaarheid. Verslag van workshop gehouden op 13 jan 2009, Wageningen UR.



Ontwikkelen van wetenschappelijke en toegepaste kennis voor een
klimaatbestendige inrichting van Nederland en het creëren van een
duurzame kennisinfrastructuur voor het omgaan met klimaatverandering

Contactinformatie

Programmabureau Kennis voor Klimaat

Secretariaat:

p/a Universiteit Utrecht

Postbus 80115

3508 TC Utrecht

T +31 88 335 7881

E office@kennisvoorklimaat.nl

Communicatie:

p/a Alterra, Wageningen UR

Postbus 47

6700 AA Wageningen

T +31 317 48 6540

E info@kennisvoorklimaat.nl

www.kennisvoorklimaat.nl

