Technische commissie bodem
Postbus 30947
2500 GX Den Haag
T 070 4566596
E info@tcbodem.nl

ADVIES KLIMAAT EN HET BODEM- EN WATERSYSTEEM IN GEBIEDSONTWIKKELING

Aan
De Minister van Infrastructuur en Milieu
Postbus 20901
2500 EX Den Haag

TCB A081(2012) Den Haag, 20 december 2012

Betreft: advies Klimaat en het bodem- en watersysteem in gebiedsontwikkeling

Mevrouw de Minister,

Uw adviesaanvraag van 20 februari 2012[1] richt zich op de vraag hoe de diensten van het bodem- en watersysteem ingezet kunnen worden voor het invullen van klimaatopgaven in de context van duurzame gebiedsontwikkeling. U benadrukt daarbij de mogelijkheden om in het ruimtelijke domein oplossingsmogelijkheden te zoeken. Deze brief vat het advies van de TCB samen. Een onderbouwing treft u aan in de bijlagen.

De TCB is er bij dit advies vanuit gegaan dat de oorzaken en eventuele gevolgen van klimaatverandering in grote lijnen bekend zijn, evenals de beleidsopgaven met betrekking tot klimaat en de stand van zaken ten aanzien van de opgaven. In de adviesaanvraag is een aantal vragen aan de TCB voorgelegd. De TCB heeft daar de volgende hoofdvraag uit gedestilleerd: hoe is het bodem- en watersysteem in te zetten voor het verhogen van de klimaatbestendigheid en het terugdringen van de netto uitstoot van broeikasgassen. Daarbij gaat de TCB, conform de adviesaanvraag, in op de ruimtelijke consequenties van het inzetten van het bodem- en watersysteem voor deze doeleinden.

De TCB meent dat adaptatie aan en mitigatie van klimaatverandering opgaven zijn voor zowel het stedelijk als het landelijk gebied. Wat waar het beste kan worden gerealiseerd zou onderdeel moeten zijn van de ruimtelijke afweging. De TCB beveelt aan dit advies te delen met andere overheden.

De TCB heeft maatregelen geïnventariseerd waarmee het bodem- en watersysteem kan bijdragen aan adaptatie en mitigatie. Daarbij zijn ook de tijdschaal, de effectiviteit en het toepassingsgebied aangegeven. De algemene conclusie is dat het bodem- en watersysteem een significante bijdrage kan leveren aan zowel adaptatie als mitigatie, zowel in het landelijk als het stedelijk gebied. Voor mitigatie is deze conclusie indicatief kwantitatief onderbouwd, voor adaptatie lag dit niet binnen de mogelijkheden gezien de beschikbare informatie.

[1] Zie bijlage 1.

ADAPTATIE EN MITIGATIE

De TCB heeft de kwalitatieve en kwantitatieve bijdragen belicht die het bodem- en watersysteem met behulp van ecosysteemdiensten kan leveren aan het behalen van opgaven van het klimaatbeleid. Voor de inzichtelijkheid is onderscheid gemaakt in adaptieve en mitigerende maatregelen. Sommige maatregelen zijn zowel adaptief als mitigerend. Adaptieve maatregelen zijn gericht op het verminderen van de kwetsbaarheid van de samenleving voor klimaatverandering. Mitigerende maatregelen zijn in dit advies de maatregelen die gericht zijn op het verminderen van klimaatverandering via beperking van de netto uitstoot van broeikasgassen. Grofweg gaat het hierbij om twee categorieën: gebruik en beheer van het bodem- en watersysteem gericht op vermindering van de netto uitstoot van broeikasgassen, en inzet van hernieuwbare energiebronnen op of in de bodem.

BELEIDSOPGAVEN

De door het KNMI voorspelde klimaatverandering leidt tot onder andere te hoge en te lage rivierafvoeren, verzilting, wateroverlast en verdroging. Daarnaast vermindert de kwaliteit van het stedelijk leefklimaat. In zowel het Nationaal Waterplan als het Deltaprogramma worden kwalitatief doelen geformuleerd of streefbeelden voor de lange termijn geschetst. De betekenis van maatregelen voor klimaatadaptatie kan worden bezien in het licht van deze doelen en streefbeelden. Het gaat hierbij om zoetwatervoorziening, drinkwatervoorziening, natuurlijker verloop van beken, natuurlijker grondwaterpeil en meer waterberging. Voor klimaatmitigatie zijn er beleidsmatig doelstellingen voor emissiereductie vastgesteld op mondiaal, Europees en nationaal niveau. De TCB vergelijkt klimaatmitigatiemaatregelen met de algemene Europese doelstelling voor emissiereductie voor 2020, door deze reductiedoelstelling toe te passen op de uitstoot van broeikasgassen in Nederland. Uitgaande van de Nederlandse situatie met een emissie in het basisjaar 1990 van 213 Mton CO_2-equivalenten, moet dan in 2020 de jaarlijkse emissie van broeikasgassen met minstens 43 Mton CO_2-equivalenten gereduceerd zijn tot 170 Mton CO_2-equivalenten.

MAATREGELEN

Het bodem- en watersysteem heeft reeds een belangrijke bijdrage geleverd aan klimaatadaptatie en kan dit in de toekomst ook doen. Het gaat om een ruimtelijke inrichting die aansluit bij de eigenschappen van bodem en ondergrond, meer open bodem en groen in de stad, verbeteren van het waterregulerend vermogen van de bodem, ondergrondse opslag van zoetwatervoorraden, aanpassingen in het peilbeheer en gewaskeuze in de landbouw. De door de TCB geïnventariseerde adaptieve maatregelen[2] benutten vaak meerdere ecosysteemdiensten van het bodem- en watersysteem. Zo zorgt open bodem en groen in de stad voor een betere waterregulatie en verkoeling. Beide maatregelen dragen daardoor bij aan minder wateroverlast en –tekort en een gezonder leefklimaat. Bovendien draagt open bodem in de stad bij aan mitigatie door vastlegging van koolstof in bijvoorbeeld de vegetatie van nieuwe groene gebieden.

De maatregelen gericht op mitigatie van klimaatverandering die de TCB inventariseerde, zijn zoveel mogelijk gekwantificeerd[2]. Hoewel deze kwantitatieve bijdragen aan klimaatmitigatie indicatief zijn, concludeert de TCB dat het bodem- en watersysteem potentieel een substantiële bijdrage kan leveren aan het behalen van de doelstellingen voor emissiereductie. De te realiseren bijdrage hangt onder

[2] Zie voor een beschrijving en overzicht de bijlagen 2 en 3.

andere af van keuzes in landgebruik en bodembeheer. De maatregelen dienen afgewogen te worden tegen andere ecosysteemdiensten van het bodem- en watersysteem.

DUURZAME GEBIEDSONTWIKKELING

Klimaatgerichte gebiedsontwikkeling kan gezien worden als onderdeel van duurzame gebiedsontwikkeling, wanneer in voldoende mate adaptieve en mitigerende maatregelen worden genomen en het beheer van een gebied erop wordt aangepast. De TCB is van mening dat er in ieder ruimtelijk project een klimaatopgave ligt. Daarnaast kan ook worden gekeken in hoeverre er bovenop de opgaven nog een bijdrage kan worden geleverd in het kader van een verdienmodel.

Welk type maatregelen het beste genomen kan worden, hangt af van de lokale omstandigheden en daarmee samenhangend de (kosten)effectiviteit van de maatregelen. Daarbij merkt de TCB op dat bijdragen van het bodem- en watersysteem aan adaptatie en mitigatie in de regel ook sterk bijdragen aan andere maatschappelijke opgaven, zoals natuur, biodiversiteit en gezondheid en dat dergelijke maatregelen zeker op de lange termijn veelal goedkoper zijn in onderhoud. Om deze baten goed te kunnen meewegen in afwegingen over de inzet van het bodem- en watersysteem, beveelt de TCB aan om maatschappelijke kosten-batenanalyses uit te laten uitvoeren.

De TCB ziet vooral dilemma's in de noodzaak om ruimte te reserveren voor open bodem en groen in stedelijk gebied. In groeigebieden kan dit leiden tot een ruimere reservering van urbaan gebied. Dit gaat in tegen de algemene trend van het bouwen binnen de bestaande bebouwingscontouren. Het herontwikkelen van *brownfields* en andere verouderde bedrijventerreinen en woonwijken kan dit tegengaan. In het landelijk gebied is het dilemma vooral gelegen in het feit dat adaptieve en mitigerende maatregelen aanpassing van het bodemgebruik vergen, wat consequenties kan hebben voor de sociaal-economische ontwikkeling in een gebied. Slim combineren met ander gebruik en andere verdienmodellen kunnen hier oplossingen bieden.

Omdat bodem en ondergrond traag reagerende compartimenten zijn, die lastig en alleen tegen hoge kosten te herstellen zijn, zou de voorkeur bij nutsfuncties voor de lange termijn moeten liggen. De TCB beveelt aan hierbij tijdschalen voor het effect van maatregelen te hanteren zoals die in de bijlagen van dit advies naar voren zijn gebracht. Een aantal maatregelen kan afhankelijk van de uitvoering ongewenste neveneffecten op het milieu hebben. De TCB beveelt aan hierbij het instrument van levenscyclusanalyse in te zetten.

De belangrijkste randvoorwaarde voor het bijdragen van het bodem- en watersysteem is dat ecosystemen goed functioneren. Hiervoor is het cruciaal om voor een goede bodem-, water-, en luchtkwaliteit te zorgen. Het bestaande preventieve milieubeleid moet hiervoor op zijn minst gehandhaafd worden. Extra aandacht is wellicht nodig voor de toenemende aanvoer van biomassa, ook uit het buitenland, ten behoeve van een groene energievoorziening.

De TCB ziet als belangrijkste acties en indicatoren voor klimaatgerichte gebiedsontwikkeling: reductie emissie broeikasgassen, verhogen hoeveelheid open bodem en groen in de stad, verlagen frequentie van wateroverlast, verminderen watertekorten en verdroging, volgen verschuiving drinkwatervoorziening, volgen verschuiving in landbouwgewassen en volgen van het voorkomen van ziekten en plagen. Om lokale en regionale mitigerende klimaatmaatregelen via het bodem- en watersysteem te bevorderen, beveelt de TCB aan om landgebruik met bijbehorend bodembeheer op te nemen in de nationale CO_2-emissieregistratie.

Bij een eventueel te ontwikkelen beleidskader moet bedacht worden dat er veel voorbeelden zijn van lokale projecten waarin ecosysteemdiensten van het bodem- en watersysteem worden ingezet om tot adaptatie aan en mitigatie van klimaatverandering te komen. Deze initiatieven komen vaak voort uit wat als 'de energieke samenleving' wordt omschreven. Er zijn ook verschillende instrumenten ontwikkeld om tot duurzame gebiedsontwikkeling te komen, waarvan een aantal in opdracht van het rijk. De TCB beveelt aan klimaatmaatregelen via het bodem- en watersysteem daar meer nadrukkelijk aan te verbinden.

Indien het rijk ervoor kiest om het bodem- en watersysteem sterker in te zetten voor het behalen van nationale beleidsopgaven op het gebied van klimaat, dan is ook op nationaal niveau regie nodig. Dit kan in de vorm van het stellen van kaders. De TCB beveelt daarbij aan ieder ruimtelijk ontwikkelingsplan of (her)inrichtingsplan een klimaatdoelstelling mee te geven, afhankelijk van het type gebied en de omvang ervan. Daarin kunnen de bovengenoemde aanbevelingen en randvoorwaarden een rol krijgen.

Met de meeste hoogachting,

Het origineel van dit advies is gestuurd aan de verantwoordelijke bewindspersoon/personen.

Ali Edelenbosch
Voorzitter Technische commissie bodem

BIJLAGEN

Bijlage 1	Adviesaanvraag
Bijlage 2	Onderbouwing advies Klimaat en het bodem- en watersysteem in gebiedsontwikkeling
Bijlage 3	Overzicht van maatregelen Tabel 3: Adaptatie Tabel 4: Mitigatie

Bijlage 1.

ADVIESAANVRAAG

Ministerie van Infrastructuur en Milieu

> Retouradres Postbus 20901 2500 EX Den Haag

Voorzitter Technische Commissie Bodem
Mevrouw A. Edelenbosch
Postbus 20901
2500 EX Den Haag

Directoraat-Generaal Ruimte en Water
Water en Bodem
Bodem en Drinkwater

Plesmanweg 1-6
Postbus 20901
2500 EX Den Haag
www.rijksoverheid.nl

Contactpersoon
Ir. M.P.T.M. de Cleen

M 06 52740015

Kenmerk
2012 13713

Kopie aan
Bernard ter Haar
Chris Kuijpers
Koen de Snoo
Ruud Cino
Jan van Vliet

Datum 20 FEB. 2012

Betreft Adviesaanvraag aan de TCB over diensten van het bodem- en watersysteem bij klimaatmaatregelen als onderdeel van gebiedsontwikkeling

Geachte mevrouw Edelenbosch,

De gezamenlijke overheden geven met het convenant bodemontwikkelingsbeleid en aanpak spoedlocaties een aanzet tot een beleid gericht op duurzaam benutten en beheren van bodem en ondergrond. Bodem en ondergrond kunnen bijdragen aan het vergroenen van de maatschappij. De rol van de overheid verandert hierbij ook. Het nieuwe beleid krijgt steeds meer vorm in directe samenspraak tussen overheden en maatschappelijke organisaties. De overheid faciliteert met minder geld bij het realiseren van wensen vanuit de samenleving. Deze ontwikkelingen vragen om kennis over het bodem- en ondergrondsysteem die aansluit bij maatschappelijke opgaven en ontwikkelingen en de nieuwe rol van de overheid. De overheid wil beperkende regels verminderen en toewerken naar een situatie waarin zij stuurt op innovatie vanuit de maatschappij. Hiervoor wil zij:

- Kaders stellen waarbinnen markten kunnen opereren;
- Heldere doelen en institutionele randvoorwaarden stellen die nieuwe markten stimuleren en vervolgens ruimte creëren voor andere partijen;
- Zelf met kennis, kunde en kaders bijdragen aan het faciliteren van initiatieven, vanuit maatschappelijke organisaties en ondernemers, waar de samenleving baat bij heeft;
- Beleid maken waarbij de duurzame samenleving centraal staat;
- Meer openstaan voor inbreng vanuit de maatschappij op beleidsontwikkeling;

Vanuit de wens om het bodem- en watersysteem duurzaam in te zetten voor zowel mitigerende als adaptieve klimaatdoeleinden is behoefte aan het formuleren van een beleidskader. Dit beleidskader dient te faciliteren bij initiatieven voor duurzame gebiedsontwikkeling en herstructurering. Het geeft handvatten voor het implementeren van klimaatmaatregelen vanuit het natuurlijk systeem. Bijvoorbeeld bij de herinrichting van krimpgebieden en de ontwikkeling van de main-, brain- en greenports of bij het ontwikkelen van een klimaatbestendige

Directoraat-Generaal Ruimte en Water
Water en Bodem
Bodem en Drinkwater

Kenmerk
2012 13713

woonwijk: Wat is duurzaam bodemgebruik in relatie tot de klimaatopgaven, waaraan kan men denken? Met welke indicatoren is hier concrete invulling aan te geven? Hoe kunnen ontwikkelingen en de voortgang worden gemonitord? Is het mogelijk om de bijdrage van verschillende diensten van het bodem- en watersysteem aan de klimaatopgave te waarderen en is hierin een situatieafhankelijke prioritering mogelijk? Daarnaast is ook behoefte aan het waarderen van de indicatoren: wanneer is het 'goed', wat is de referentie? Is wetenschappelijke kennis hiervoor in te zetten? Welke kennis over het bodem- en watersysteem is hierbij nodig?

Deze vragen sluiten aan bij de vragen in de strategische Kennisagenda Ruimte en Water die op dit moment wordt opgesteld:

- Wat zijn de ruimtelijke consequenties van klimaatadaptatie, tot welke mogelijk ruimtelijke dilemma's leidt dit en welke ruimtelijke randvoorwaarden voor de inpassing vloeien daaruit voort?
- Welke slimme combinaties en innovaties zijn er om de nieuwe vormen van ruimtegebruik door klimaatadaptatie efficiënt in te passen?

Voor de inzet van het bodem- en watersysteem zijn deze vragen uit te werken tot:

- Op welke wijze is het water- en bodemsysteem mee te nemen in de beoordeling van ruimtelijke consequenties van klimaatadaptatie? Welke ruimtelijke dilemma's treden hierbij op en welke randvoorwaarden vloeien voort uit het duurzaam inzetten van het bodem- en watersysteem? Welke indicatoren zijn in te zetten en welke zijn hierbij prioritair?
- Op welke wijze kan het bodem- en watersysteem worden ingezet om te komen tot slimme combinaties en waar liggen mogelijkheden tot innovaties?

Er lopen op dit moment veel initiatieven die de relatie tussen het bodemgebruik en klimaatadaptatie en –mitigatie in beeld proberen te brengen, zoals:

- TEEB (the economics of ecosystems and biodiversity) in de stad (Witteveen en Bos);
- SKB-project Ontwerpen met de ondergrond (TNO ism TU Delft);
- Gidsmodellen voor water en Synergie in stromenbeheer;
- Deltaprogramma Nieuwbouw en Herstructurering: Proeftuinen Klimaat in de stad;
- Database adaptatiemaatregelen
- TCB-publicatie Ontdek de Stadsbodem
- RIVM-rapporten Klimaatverandering in het stedelijk gebied: de bodemfactor en Groen en waterberging in relatie tot bodem.

Ondanks dat al veel kennis aanwezig dan wel in ontwikkeling is, is nog onvoldoende duidelijk welke kennis over het bodem- en watersysteem bruikbaar is in het klimaatbeleid.
Naast de eerder genoemde vragen wil ik daarom de volgende vragen voorleggen aan de TCB:

- Welke gevolgen heeft klimaatverandering op de diensten die het bodem- en watersysteem kan leveren in een verstedelijkende delta? Zowel qua regulerende diensten zoals waterregulatie, temperatuurregulatie en reinigend vermogen, als producerende diensten zoals voedsel en groen, culturele diensten zoals gezondheid en recreatie en ondersteunende

Directoraat-Generaal Ruimte en Water
Water en Bodem
Bodem en Drinkwater

Kenmerk
2012 13713

diensten. Vice versa: welke diensten zijn bruikbaar bij klimaatadaptieve verstedelijking? Op welke wijze kan stedelijke inrichting bijdragen aan mitigatie van klimaatverandering? Wat betekent dit voor het te ontwikkelen beleidskader? Is er een prioritering aan te brengen naar profijt van bepaalde diensten onder verschillende omstandigheden?

- In hoeverre is het (directe?) klimaatsnut van het bodem-&watersysteem af te wegen tegen andere/meer langetermijn nutsfuncties van het bodem- en watersysteem?
- Welke kansrijke initiatieven of strategieën zijn volgens de TCB denkbaar teneinde de relatie tussen de diensten van het bodem- en watersysteem voor (klimaatadaptieve en mitigerende) verstedelijking in de Nederlandse delta enerzijds en de voorwaarden voor het leveren daarvan anderzijds te verbeteren? Hoe kunnen bestaande initiatieven hierin voorzien, wat zijn de kennisleemten?

Ik zie deze adviesaanvraag als een aanvulling op de eerdere adviesaanvraag over ecosysteemdiensten. In dit advies gaat het specifiek over diensten van het bodem- en watersysteem in relatie tot klimaat. Ik heb behoefte aan handvatten voor het opstellen van een kader waarmee maatschappelijke partijen invulling kunnen geven aan een duurzame gebiedsontwikkeling.

Graag ontvang ik spoedig uw advies hierover.

de minister van Infrastructuur en Milieu,
voor deze,
de directeur-generaal Ruimte en Water,
o.l.:
de directeur Water en Bodem,

drs. E.B. Alwayn

Bijlage 2.

ONDERBOUWING ADVIES KLIMAAT EN HET BODEM- EN WATERSYSTEEM IN GEBIEDSONTWIKKELING

Leeswijzer **3**

1. De rol van het bodem- en watersysteem **3**

2. Benutten van het bodem- en watersysteem **4**

Adaptatie aan klimaatverandering **4**
Klimaatscenario's en beleidsopgaven 4
Onderscheid in gebieden 5
Groen en water in de stad 5
Bodem inzetten bij waterbeheer 6
Ruimtelijke inrichting 8
Gewas en vegetatie 9
Infectiedruk en plagen 10
Watererosie 10
Winderosie 11
Conclusies adaptieve maatregelen 11

Mitigatie van klimaatverandering **12**
Beleidsopgaven 12
Reststromen en energieteelt 12
Warmte- en koudeopslag 14
Geothermie 14
Verminderen veenoxidatie, stimuleren veengroei 15
Kader Wieden-Weerribben 16
Verhogen gehalte organische stof van akkerbouwgrond 16
Biochar 17
Vastleggen van koolstof via duurzame bosbouw 17
Areaal grasland en graslandbeheer 18
Conclusies mitigerende maatregelen 18

3. Duurzame gebiedsontwikkeling **19**
Handvatten voor gebiedsontwikkeling 19
Instrumentarium voor maatschappelijke partijen 20
Beleid op nationaal niveau 21
Keuzes en prioriteiten 23
Schaalniveaus en partijen 23
Kennisleemten 24

4 Conclusies en aanbevelingen **24**
Algemeen 24
Antwoord op de adviesvragen 25

LEESWIJZER

Deze bijlage van het advies is als volgt opgebouwd. Na een korte inleiding op de rol van het bodem- en watersysteem bij klimaatverandering volgt een overzicht van de mogelijke benutting van dit systeem voor adaptatie aan en mitigatie van klimaatverandering. De benutting voor mitigatie van klimaatverandering is daarbij zoveel mogelijk kwantitatief ingevuld, voor klimaatadaptatie gaat het om een kwalitatieve beschouwing. In tabellen (apart opgenomen als bijlage 3) wordt het overzicht van de maatregelen gegeven. De wijze waarop de beschreven diensten van het bodem- en watersysteem kunnen worden geïmplementeerd, is onderwerp van het hoofdstuk Duurzame gebiedsontwikkeling. Een hoofdstuk met conclusies en aanbevelingen, gegroepeerd rond de vragen uit de adviesaanvraag, sluit de bijlage af.

1. DE ROL VAN HET BODEM- EN WATERSYSTEEM

Er is al veel geschreven over de noodzaak tot mitigatie van[1] en adaptatie aan[2] klimaatverandering, plus de maatregelen die daarvoor nodig zijn. In haar advies gaat de TCB ervan uit dat (de oorzaken van) klimaatverandering en eventuele gevolgen daarvan bekend zijn, evenals de beleidsopgaven met betrekking tot klimaat en de stand van zaken ten aanzien van de opgaven. Deze bijlage richt zich vooral op het beantwoorden van de hoofdvraag, namelijk hoe het bodem-[3] en watersysteem is in te zetten voor het verhogen van de klimaatbestendigheid in brede zin en het terugdringen van de netto uitstoot van broeikasgassen. Deze vraag stelt de Minister van Infrastructuur en Milieu in het kader van duurzame gebiedsontwikkeling en heeft dus een ruimtelijke context. De commissie merkt op dat zij voor het stedelijk gebied al een aanzet heeft gegeven voor een antwoord op deze vraag in haar adviezen over afdekken[4,5] en in het boek 'Ontdek de stadsbodem'[6]. Ook heeft de commissie in verschillende adviezen aangegeven hoe het bodem- en watersysteem een betere rol kan krijgen in complexe (ruimtelijke) afwegingen[7,8,9,10].

De opwarming van het klimaat wordt toegeschreven aan toenemende concentraties broeikasgassen zoals kooldioxide (CO_2), methaan (CH_4) en lachgas (N_2O) in de atmosfeer[11]. In relatief korte tijd zijn de voorraden aan fossiele organische stoffen uit diepere aardlagen, zoals aardolie, steenkool en olie, grotendeels verbrand. Daarnaast hebben het verbranden van grote hoeveelheden hout, bepaalde vormen van veeteelt en landbouw en meer in het algemeen een niet duurzame omgang met onze

---

1 Onder mitigatie van klimaatverandering verstaat de TCB: vermindering van de snelheid en omvang van klimaatverandering door het terugdringen van broeikasgassen.

2 Onder adaptatie aan klimaatverandering verstaat de TCB: het proces waardoor de samenleving de kwetsbaarheid voor klimaatverandering vermindert of waardoor zij profiteert van de kansen die een veranderend klimaat biedt.

3 Het begrip ondergrond is het meest ingeburgerd in het ruimtelijk domein. Het begrip bodem wordt vooral gebruikt in het milieu- en duurzaamheidsdomein. De TCB maakt geen onderscheid tussen beide termen; ze hebben dezelfde betekenis in het fysieke technisch-wetenschappelijke domein.

4 Advies Gevolgen van afdekken van bodem, TCB A048(2009).

5 Advies Randvoorwaarden afdekken bodem in stedelijk gebied, TCB A063(2010).

6 Van der Wel, N. *et al.*, 2010. Ontdek de stadsbodem – Over oude en nieuwe bodems en de diensten die ze vervullen, TCB en Natuurmedia.

7 Preadvies Duurzaam gebruik van de ondergrond, TCB A043(2008).

8 Rapport Duurzaam gebruik van de ondergrond; gereedschap voor structuur en visie maart 2012, TCB R22(2012).

9 Advies Beter besluiten met ecosysteemdiensten, TCB A073(2012).

10 Advies Wijziging Wet bodembescherming als onderdeel van de Omgevingswet, TCB A078(2012).

11 De broeikaskracht van deze gassen wordt uitgedrukt in CO_2-equivalenten. Methaan (CH_4) staat hierbij voor circa 25 equivalenten CO_2 en lachgas (N_2O) voor 300 equivalenten CO_2.

natuurlijke leefomgeving een groot effect op het lokale en mondiale klimaat. Het smelten van de ijskappen versterkt de klimaatverandering.

Kooldioxide komt vooral vrij bij ontleding van organische stof, inclusief fossiele brandstoffen. Deze organische stof bestaat uit plantaardig en dierlijk materiaal dat direct of indirect zijn oorsprong heeft in de bodem. Methaan ontstaat bij de ontbinding van plantaardig materiaal onder specifieke zuurstofarme omstandigheden. Het wordt in aanzienlijke hoeveelheden geproduceerd door runderen. Lachgas komt vooral vrij uit de bodem en ontstaat door nitrificatie en denitrificatie. Het gebruik van meststoffen versterkt deze processen. Ook de waterhuishouding is van invloed. De processen waarbij broeikasgassen vrijkomen maken deel uit van de biogeochemische kringlopen van koolstof, stikstof en water. Het bodem- en watersysteem vormt een onlosmakelijk onderdeel hiervan.

Van nature vormt het geheel van bodem, lucht, grond- en oppervlaktewater inclusief oceanen een dynamisch werkend ecosysteem op uiteenlopende schaalniveaus. Allerlei fysische, biologische en chemische processen spelen zich hierin af zoals filtering, verdamping, plantengroei en afbraak van afgestorven materiaal, in een voortdurende kringloop. De kringlopen leveren een reeks nuttige ecosysteemdiensten. Met name de koolstof- en stikstofkringloop spelen een rol bij de opwarming van het klimaat. De waterkringloop is betrokken bij de regulatie en adaptatie van het klimaat met behulp van luchtvochtigheid en temperatuurbuffering. Waterdamp kan in dat opzicht beschouwd worden als een broeikasgas.

2. BENUTTEN VAN HET BODEM- EN WATERSYSTEEM

In deze paragraaf worden kwalitatieve en kwantitatieve bijdragen belicht die het bodem- en watersysteem met behulp van ecosysteemdiensten kan leveren aan het behalen van opgaven van het klimaatbeleid. Voor de inzichtelijkheid is een onderscheid gemaakt in adaptieve en mitigerende maatregelen. Sommige maatregelen zijn zowel mitigerend als adaptief. De genoemde maatregelen zijn samengevat in tabellen 3 en 4 van bijlage 3.

ADAPTATIE AAN KLIMAATVERANDERING

Adaptieve maatregelen zijn gericht op het verminderen van de kwetsbaarheid van de samenleving voor klimaatverandering.

Klimaatscenario's en beleidsopgaven

Volgens de klimaatscenario's van het KNMI uit 2006[12] zullen de winters natter worden en is de kans op droogte in de zomer groter. Ook zal de hevigheid van extreme buien toenemen. Klimaatadaptatie is daarom een belangrijke doelstelling van het waterbeleid; het bodem- en watersysteem speelt hierin een belangrijke rol. Het nationaal waterbeleid voor de periode 2009 tot 2015 is op hoofdlijnen geformuleerd in het Nationaal Waterplan (NWP). Het Deltaprogramma[13], dat zich richt op waterveiligheid en behoud van de zoetwatervoorziening, bevat in de deelprogramma's op veel gebieden uitwerkingen die aansluiten op het NWP. Ook voor het Deltaprogramma wordt uitgegaan van de KNMI-scenario's uit 2006.

12 Hurk B. van den *et al.*, 2006. *KNMI climate change scenarios 2006 for The Netherlands. KNMI scientific report WR 2006-01.*

13 Deltaprogramma 2013. Ministeries van Infrastructuur en Milieu en Economische zaken, Landbouw en Innovatie, 2012.

De voorspelde klimaatverandering leidt tot onder andere te hoge en te lage rivierafvoeren, verzilting, wateroverlast en verdroging. Ook vermindert de kwaliteit van het stedelijk leefklimaat. In zowel het NWP als het Deltaprogramma worden kwalitatief doelen geformuleerd of streefbeelden voor de lange termijn geschetst. De betekenis van maatregelen voor klimaatadaptatie, zoals hierna beschreven in deze paragraaf, kunnen worden bezien in het licht van deze doelen en streefbeelden. Een aantal doelen en streefbeelden is bijvoorbeeld:

- De komende eeuw dienen we te beschikken over voldoende zoet water (Deltaprogramma).
- De drinkwatervoorziening blijft altijd gegarandeerd, er zijn voldoende strategische reserves en alternatieve bronnen beschikbaar (Streefbeeld voor 2050-2100; NWP).
- In hoog Nederland hebben beken weer een natuurlijker verloop en is het grondwater weer op een hoger en natuurlijker peil door de sponswerking te vergroten en de drainerende werking van waterlopen tegen te gaan. Het landgebruik is afgestemd op de draagkracht van het systeem (Streefbeeld voor 2050-2100; NWP).
- Er is veel gedaan om meer ruimte voor water te creëren en met een slimme inrichting van het stedelijk gebied de waterbestendigheid en de bergingscapaciteit te vergroten, bijvoorbeeld open water in de stad, groenblauwe combinaties, wateropvang, groene daken, drempels voor buitendeuren en een betere afvoer via het riool door schoon regenwater, waar zinvol, te scheiden van afvalwater (Streefbeeld voor 2050-2100; NWP).

Onderscheid in gebieden

De effecten van klimaatverandering verschillen per regio; lokale en regionale omstandigheden bepalen de aard van de effecten. Dit betekent dat de noodzaak en effectiviteit van adaptieve maatregelen tussen gebieden verschilt. In grote lijn zijn verschillen aan te geven tussen hoog en laag Nederland, maar dit is onvoldoende differentiërend. Indelingen kunnen gebaseerd zijn op landschappelijke kenmerken - zoals de gidsmodellen lagenbenadering[14] - of op geohydrologische karakteristieken, zoals de afbakening van grondwaterlichamen[15]. Gezien de koppeling van klimaatadaptatie met ruimtelijke inrichting spreekt een landschappelijke indeling aan, zoals toegepast voor de gidsmodellen. Daarbij wordt onderscheid gemaakt in laag Nederland en de kust, het rivierengebied, het zandlandschap, het Limburgse heuvellandschap en het landschap van de hoogveenontginningen. Deze hoofdcategorieën worden verder onderverdeeld. Gezien ook het belang van geohydrologische en geochemische informatie bij ruimtelijke planning (in termen van de lagenbenadering betreft dit de 'ondergrond') adviseert de TCB om de indeling van de EU-grondwaterlichamen in Nederland als aanvullend kader te gebruiken.

Groen en water in de stad

Vergroting van het percentage onafgedekte, open bodem kan bijdragen aan een toekomstbestendig watersysteem in verstedelijkte omgevingen. Een open bodem kan de volgende ecosysteemdiensten leveren:

- water vasthouden door een natuurlijke sponswerking van het bodem- en watersysteem.
- water geleidelijk laten verdampen en afvoeren naar het grondwater door het benutten van de traagheid van stromend water in een grondlichaam.
- vegetatie dragen.
- omgevingstemperatuur en luchtvochtigheid van het leefklimaat reguleren[5].

[14] www.gidsmodellen.nl.
[15] Advies Grondwater, TCB A074(2012).

Maatregelen die getroffen kunnen worden om deze ecosysteemdiensten te benutten, zijn divers. In het kader van het deelprogramma Nieuwbouw en herstructurering van het Deltaprogramma zijn 155 fysieke maatregelen beschreven waarmee water beter wordt afgevoerd, droogte wordt voorkomen en hittestress wordt tegengegaan. Ongeveer een kwart van deze maatregelen heeft betrekking op het bodem- en watersysteem, zoals peilbeheer, infiltratievoorzieningen, wadi's, verbetering van de bodemstructuur en meer groen via bossen en parken, grasvelden en stadslandbouw. Voor andere maatregelen is deze relatie minder direct en gaat het bijvoorbeeld om de bouwwijze van huizen of de inrichting van de stad[16].

In een eerder advies[5] is de TCB ingegaan op het gewenste oppervlak open bodem (inclusief groen) en oppervlaktewater in stedelijk gebied. In een bestaande stedelijke omgeving zou gestreefd moeten worden naar twintig tot veertig procent open bodem en water. Daarnaast kunnen groene daken en gevelbegroeiing aanzienlijk bijdragen aan de leefomgevingskwaliteit. In het genoemde advies worden kwantitatieve gegevens of richtgetallen gegeven van het effect van open bodem op waterregulatie, regulatie van temperatuur en luchtvochtigheid, vastleggen van verontreinigingen, het dragen van vegetatie, biodiversiteit, welbevinden en gezondheid. Als richtwaarde voor een goede hemelwaterafvoer geldt dat op goed infiltrerende bodems een hoeveelheid open bodem nodig is die gelijk is aan de helft van het verharde oppervlak.

Door bouwen binnen de bestaande bebouwde kom en een toename van bestraat oppervlak komen in verstedelijkte omgevingen perioden van hittestress steeds vaker voor. Vegetatie (bomen, struiken en planten) zorgt voor een prettige leefomgeving en heeft overwegend positieve effecten op de gezondheid. Vegetatie is in allerlei vormen toe te passen – van extra bomen en parken tot groene daken en verticaal muurgroen. Bomen en struiken geven directe schaduw, verkoeling en beschutting tegen koude en storm. Ook kleinere groenelementen zoals groene daken dragen bij. Meerdere kleine locaties open bodem met groen dragen meer bij aan de verkoeling op wijk- of stadsniveau dan een grote locatie met hetzelfde oppervlak[5].

Er bestaat groeiende aandacht voor architectuur en stedenbouw waarbij de aanleg van groen integraal wordt meegenomen in het planproces. Deze werkwijze kan tot belangrijke vergroting van het areaal open bodems en vergroening van stedelijke omgevingen leiden en daarmee het klimaatadaptieve vermogen van steden verhogen[17].

Bodem inzetten bij waterbeheer

In de probleemanalyse van het deelprogramma Zoet water van het Deltaprogramma[18] wordt geconcludeerd dat we in Nederland onder alle scenario's genoeg water hebben, maar niet altijd op het juiste tijdstip, op de juiste plek en van de juiste kwaliteit. De exacte omvang van de watervraag en –beschikbaarheid is nog niet vast te stellen, omdat de onderliggende aannames nog te onzeker zijn en het gebruikte modelinstrumentarium nog verder moet worden verbeterd. Een aantal kwantificeringen wordt wel gegeven. Zo wordt voorspeld voor 2050 dat op de hoge zandgronden lokaal grondwaterstanden in de zomer een meter kunnen dalen en elders tot enkele decimeters. De bodemvochttekorten zullen zomers toenemen met een factor 2 à 3. De druk op het grondwater neemt

16 MWH, 2012. Maatregelenmatrix. Uitgevoerd door MWH in opdracht van Deltaprogramma nieuwbouw en herstructurering, maart 2012. www.dpnhmaatregelenmatrix.nl.
17 Onder andere www.groenemetropolen.nl en www.knooppuntbouwenmetgroen.nl.
18 Kielen N. *et al.*, 2011. Synthese van de landelijke en regionale knelpuntenanalyses. Fase 1. Deltaprogramma, deelprogramma zoetwater.

extra toe door een toename van het gebruik ervan als beregeningswater in de landbouw, om droge periodes te overbruggen[19].

In een recente inventarisatie van STOWA en SKB zijn lopende projecten in beeld gebracht die zijn te vatten onder 'de rol van bodem bij klimaatadaptief waterbeheer'. Hierin wordt aangegeven dat de effecten van bodemverbeterende maatregelen op waterbeheeraspecten nog slecht zijn gekwantificeerd. Dat geldt zowel voor de waterkwantiteit (buffervorming en afvoeren) als voor de waterkwaliteit (nutriënten en microverontreinigingen)[20]. De TCB onderscheidt een aantal categorieën van maatregelen op het gebied van waterbeheer, die hierna wordt besproken.

Algehele verbetering van de bodemkwaliteit

De structuur, het bodemleven en het gehalte organische stof van de bodem zijn bepalend voor diensten als waterregulerend vermogen, weerstand tegen stress en ziekte- en plaagwering. Het verbeteren van deze kwaliteiten van de bodem door bodembeheer is daarom een belangrijke basismaatregel voor klimaatadaptatie. Zinvolle maatregelen om de bodemkwaliteit te verbeteren verschillen per bodemsoort en landgebruik. In verschillende overzichtstudies zijn maatregelen op een rij gezet[21,22,23]. Voorbeelden van maatregelen in de landbouw zijn het telen van groenbemesters gedurende de winterperiode, het bodemleven sparen bij onkruidbestrijding, organische stof toevoegen in de vorm van compost, overgaan op niet-kerende grondbewerking en grondbewerking aanpassen zodat bodemverdichting wordt tegengegaan. Ook voor het stedelijk gebied, waar vaak sprake is van een grote diversiteit aan bodems met variabele gehalten organische stof, is de notie van belang dat open bodem en vergroening leidt tot opbouw van organische stof en verbetering van de bodemstructuur. Naast positieve effecten op het leefklimaat heeft dit ook hier gunstige gevolgen voor de waterregulatie via de bodem.

Vasthouden van water in de bodem

Maatregelen om het organische-stofgehalte in bepaalde bodems te verhogen en de structuur te verbeteren, verhogen het waterbergend vermogen van de bodem. Het project Bufferboeren is een voorbeeld waarbij deze maatregel, samen met andere maatregelen, wordt ingezet om de zandgronden van Noord-Brabant meer droogteresistent te maken en de landbouwkundige productie op peil te houden. Hier getroffen maatregelen zijn[24]:

- zoveel mogelijk water vasthouden of terugbrengen door hydrologische maatregelen.
- zoveel mogelijk water vasthouden door verhogen van het gehalte organische stof.
- de wortels dichter bij het water te brengen door de beworteling onder de grasmat te verdiepen, bijvoorbeeld door de inzaai van andere soorten en het tegengaan van bodemverdichting[25].
- een efficiëntere waterbenutting door gewaskeuze.

Deze maatregelen verschillen in de termijn waarbinnen zij effectief zijn. Met name de derde genoemde maatregel is effectief op korte termijn. Het verhogen van het gehalte organische stof is een

---

19 Broers H.P. en J. Griffioen, 2012. Grondwaterstress: wat nu? – en hoe dan? Tijdschrift Bodem jrg. 22 nr. 4.
20 Talsma M. en S. Kooiman, 2012. Klimaatadaptief waterbeheer: wat biedt de bodem? STOWA rapport 2012-24.
21 Faber J.H. *et al.*, 2009. Ecosysteemdiensten en bodembeheer. Maatregelen ter bevordering van de biologische bodemkwaliteit. Alterra rapport 1813.
22 Westerhof R. *et al.*, 2010. Maatregelen en instrumenten voor de bodem in prioritaire gebieden. Studie in opdracht van het Interprovinciaal Overleg (IPO). Rapport Royal Haskoning 9V0371/R00010/CVDB/Gron.
23 Rutgers M. en L. Dirven-Van Breemen, 2012. Een gezonde bodem onder een duurzame samenleving. Uitgave van het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), Bilthoven.
24 Talsma M. en S. Kooiman, 2012. Klimaatadaptief waterbeheer: wat biedt de bodem? STOWA rapport 2012-24.
25 Van Eekeren N., J. *et al.*, 2011. Terug naar de graswortel. Een betere nutriëntenbenutting door een intensievere en diepere beworteling. Louis Bolk Instituut. Rapport LbD2011-023.

langetermijnproces. Onder het kopje 'ruimtelijke inrichting' elders in dit advies worden ook voorbeelden van maatregelen genoemd waarbij het vasthouden van water centraal staat.

Ontwateringstoestand en grondwaterfluctuaties
Met name aanpassingen in het peilbeheer vormt een belangrijke groep van maatregelen waarmee beter kan worden ingespeeld op langdurige droogte en langdurige of intensievere neerslag. Voorbeelden zijn flexibel peilbeheer, dynamisch peilbeheer, peilgestuurde drainage en het toepassen van onderwaterdrains in veengebieden[26].

Waterdoorlatend vermogen van de bodem
Een maatregel in de akkerbouw is bijvoorbeeld niet of minder ploegen. Ploegen kan de waterdoorlatendheid van de bodem verminderen door destructie van aggregaten van bodemdeeltjes en verdichting onder de geploegde laag. In niet geploegd bouwland bleek de infiltratiesnelheid twee tot drie maal hoger dan in geploegd bouwland[27].

Bij het vasthouden van oppervlaktewater in het stedelijk gebied is afkoppeling van hemelwater van de riolering en directe infiltratie in de bodem een belangrijke maatregel. Diepinfiltratie[28] van hemelwater komt in beeld als vasthouden en bergen van water in stedelijk gebied geen soelaas meer bieden om wateroverlast te voorkomen[29].

Ruimtelijke inrichting

De TCB is van mening dat de inrichting van een gebied de basis vormt voor de mogelijkheden voor klimaatadaptatie. Actieprogramma's als Ruimte en Water en Ruimte voor Klimaat geven veel aandacht aan de leidende rol van water bij gebiedsinrichting. De watertoets is het wettelijk instrument waarmee het belang van water vroegtijdig in afwegingen van gebiedsinrichting kan worden betrokken. Recent heeft de TCB geadviseerd[10] om bij de verdere totstandkoming van de Omgevingswet het toetsinstrumentarium te verbreden naar bodem en landschap in een brede m.e.r.-achtige Omgevingstoets.

Maatregelen voor klimaatadaptatie via de inrichting van een gebied zouden in een dergelijke Omgevingstoets afgewogen moeten kunnen worden. Voor een deel van de maatregelen gaat het om het meer ruimte geven aan natuurlijke landschapsvormende processen om de gevolgen van klimaatverandering te beperken, zogenaamde 'klimaatbuffers'[30]. Voorbeelden van dergelijke maatregelen zijn:
- Water vasthouden in moerasachtige natuurgebieden;
- Het (weer) laten meanderen van beken, aanleg van nevengeulen, inrichten van overloopgebieden.

---

[26] Regulier peilbeheer: een vast hoger peil in de zomer en een vast lager peil in de winter. Vast peilbeheer: een gelijkblijvend peil het gehele jaar. Flexibel peilbeheer: vrij binnen vastgestelde boven- en ondergrens, waardoor in polders minder water hoeft te worden ingelaten en uitgeslagen. Dynamisch peilbeheer: continue afstemming aan de hand van weersomstandigheden, gewas, groeiomstandigheden en de agrarische bedrijfsvoering.
[27] Boyle *et al.*, 1989, gerefereerd in Faber *et al.*, 2009 (zie voetnoot 21).
[28] Diepinfiltratie is een techniek waarbij afvloeiend hemelwater door middel van een geperforeerde buis rechtstreeks geïnfiltreerd wordt in dieper gelegen watervoerende bodemlagen.
[29] Advies Diepinfiltratie van afvloeiend hemelwater, TCB A047(2009).
[30] Sterk M. en F. Schilt, 2012. Natte natuur, droge voeten. Tijdschrift Milieu, nummer 7 2012.

Andere maatregelen die hier deels mee samenhangen zijn:
- De ruimtelijke keuzes voor grasland, typen bos en teelten in de akker- en tuinbouw met verschillende invloed op de waterhuishouding en bodemontwikkeling.
- De situering van groen-blauwe buffers;
- De situering van inundatiegebieden.

Er zijn instrumenten beschikbaar om de keuzes bij ruimtelijke inrichting uitgaande van water, bodem en landschap te faciliteren. In de Nota Ruimte is de lagenbenadering geïntroduceerd. De ondergrond vormt hierbij één van de belangrijke sturende lagen voor de ruimtelijke ontwikkeling. Gebiedskennis van bodem, geomorfologie en geohydrologie kan worden vertaald in bodemkansenkaarten. Dergelijke kaarten speelden bijvoorbeeld een belangrijke rol bij de ontwikkeling van de gebiedsvisies voor de Zuidplaspolder in Zuid-Holland[31]. Andere instrumenten zijn verzameld in het Praktijkboek Klimaat voor Ruimte[32].

Gewas en vegetatie

Gewas en vegetatie kunnen op verschillende manieren een rol spelen bij de adaptatie aan de effecten van klimaatverandering. Voorbeelden zijn:

Nieuwe gewassen als aanpassing aan veranderde condities

Hoger wordende temperaturen stellen andere voorwaarden aan de teelt van gewassen en maken de teelt van nieuwe gewassen of rassen mogelijk. Zo wordt druiventeelt aantrekkelijker bij afname van het aantal nachtvorsten in het voorjaar. Het aantal wijngaarden in Nederland is momenteel nog beperkt, maar de economische perspectieven worden beter bij minder kans op schade bij nachtvorst[33]. De teelt van zonnebloemen, die nu nog op kleine schaal plaatsvindt, zou kunnen toenemen omdat het gewas bestand is tegen hitte en droogte en ook redelijk zouttolerant is. Zonnebloemolie kan een grondstof zijn voor biobrandstoffen. Het gewas kan een alternatief vormen voor andere wel gevoelige gewassen. Daarnaast is zonnebloem ook geschikt voor terreinen die af en toe onderlopen omdat de plant positief reageert op wisselende grondwaterstanden[34].

Vanwege de toename van verzilting in de kustgebieden worden in verschillende pilotstudies de kansen van zilte gewassen onderzocht. Voor de akkerbouw onder zilte omstandigheden gaat het om gewassen als gerst, spelt, suikerbiet en vlas. Voor de tuinbouw gaat het bijvoorbeeld om lamsoor, zeekraal, de zilte asperge, selderij en mogelijk venkel. Bij de laatste twee gewassen verandert de smaak onder zilte omstandigheden[34].

Gewassen en vegetatie als maatregel tegen verdroging

Vegetatie en gewas hebben invloed op de waterhuishouding. Donker naaldbos verdampt veel water. Het vervangen hiervan door loofbos, grasland of heide kan bijvoorbeeld de verdroging van natte heiden en vennen tegengaan[35]. De teelt van riet kan rendabel zijn in veenweidegebieden[36]. Riet kan ruimte bieden voor waterberging en gebruikt worden als biomassa voor energie.

---

31 Steekelenburg M. (red.), 2008. Eindrapport klimaatadaptatie in de Zuidplaspolder. Provincie Zuid-Holland/XPlorelab. Rapport Klimaat voor Ruimte 011/2008.

32 http://www.ruimtevoorklimaat.nl/home.

33 De Wit, J., D. Swart en E. Luijendijk, 2009. Klimaat en landbouw Noord-Nederland: 'Effecten van extremen'. Rapport in het kader van project Klimaat voor Ruimte. Rapport Grontmij, nr. 245375.

34 http://deltaproof.stowa.nl/Publicaties/deltafact/Zouttolerante_teelten.aspx?pId=8

35 Witte, J.P.M., J. Runhaar en R. van Ek., 2009. Ecohydrologische effecten van klimaatverandering op de vegetatie van Nederland. KWR rapportnummer 2009.32.

Bestaande gewassen handhaven door adaptieve maatregelen
Voor de agrarische sector in Noord-Holland is voor vijftien verschillende land- en tuinbouwgewassen onderzocht welke effecten klimaatverandering heeft in 2040 en 2100. Voor deze gewassen is gekeken of de kwaliteit van de gewassen bij klimaatverandering zou afnemen. Vervolgens zijn adaptieve maatregelen op een rij gezet. Het gaat hierbij om maatregelen om effecten van hittestress en droogte tegen te gaan door aanpassingen in de bedrijfsvoering, bijvoorbeeld verbreding van aardappelruggen of betere drainage bij de teelt van lelies. Er is onderscheid gemaakt in maatregelen die de boer zelf kan treffen (op gewas- en perceelsniveau), maatregelen voor de sector (zoals de ontwikkeling van nieuwe rassen en gewassen) en maatregelen die op regionaal niveau getroffen moeten worden, zoals aanpassingen in het peilbeheer[37].

Infectiedruk en plagen

Door andere temperaturen (minder vorst, hogere zomertemperaturen) en andere waterregimes kan klimaatverandering ook leiden tot een vergroting van de druk van ziekteverwekkers voor planten, dieren en mensen. Door hogere wintertemperaturen kunnen insecten die schadelijk zijn voor de landbouw beter overleven en nieuwe ziekteverwekkers en plagen kunnen worden geïntroduceerd, omdat ze gedijen in het veranderde klimaat[38].

Over de effectiviteit van maatregelen om de ziektewerendheid van de bodem te bevorderen is nog weinig uit onderzoek bekend. Wanneer het gaat om rol van de bodem bij ziektewering voor gewassen, dan blijkt wel dat de optimale omstandigheden voor ziektewering verschillen per soort bodem, per waardplant en per ziekte. Wisselteelt, minder of anders ploegen, minder kunstmest- en minder bestrijdingsmiddelengebruik zijn maatregelen die positief kunnen zijn voor de ziekte- en plaagwerendheid van de bodem[21], echter wel het met risico van opbrengstderving.

Ook klimaatadaptatiemaatregelen zoals verhogen van het grondwaterpeil (vernatten), aanleg van moerassen en ondiepe oevers en inundatie kunnen leiden tot een hogere infectiedruk voor gewassen, vee en mens. De inrichting van natte natuur in de omgeving van woongebieden kan leiden tot meer overlast van muggen en knutten. In een eerder rapport van de TCB[39] zijn voor deze situaties mogelijke maatregelen beschreven om de infectiedruk en plaagontwikkeling van insecten te verminderen. Maatregelen zijn bijvoorbeeld geen beweiding van vee in risicovolle perioden, tijdelijk ontoegankelijk maken van oeverzones voor vee om ziekten als leverbot tegen te gaan en zoveel mogelijk gebruik maken van doorstroming van water zodat steekmuggen zich niet kunnen ontwikkelen.

Watererosie

Door een toename van de regenintensiteit is ook een toename van watererosie te verwachten. Langetermijnstudies hebben aangetoond dat het jaarlijkse bodemverlies in Limburg ongeveer 14 ton per hectare is[40]. Een combinatie van beheers- en inrichtingsmaatregelen kan de oorzaken en gevolgen van watererosie in Nederland voor een groot deel beperken. De maatregelen zijn vooral van belang voor 40.000 hectare lössgebied in Zuid-Limburg en een heuvelgebied met lössgrond rond

---

[36] Grandiek N., J. van Herk en C. Cronenberg, 2007. De introductie van de rieteconomie. Een duurzaam perspectief voor de Nederlandse veenweidegebieden. InnovatieNetwerk, rapportnr. 07.2.155.
[37] http://deltaproof.stowa.nl/Publicaties/deltafact/Effecten_klimaatverandering_op_landbouw.aspx?pId=11.
[38] Roos R. *et al.*, 2004. Opgewarmd Nederland. NatuurMedia, Amsterdam.
[39] Rapport Ziekteverwekkers en bodembeheer, TCB R21(2009).
[40] Partners van het Interregproject Erosiebestrijding, Handboek Erosiebestrijding, een leidraad voor de aanpak van bodemerosie door water in Zuid-Limburg (Nl), Limburg (B) en Vlaams-Brabant (B), mei 2006.

Groesbeek[41]. Er zijn veel maatregelen waarmee van nature erosiegevoelige percelen kunnen worden beschermd tegen afstroming. Verschillende vormen van bodembedekking kunnen de kracht van regenwater breken, wat de bodem beschermt tegen erosie. Met name gewaskeuze en daarnaast ook grondbewerking bieden mogelijkheden om erosie tegen te gaan. Ze beïnvloeden vooral bodembedekking en de mogelijkheid van de bodem om water op te nemen. Tussengewassen gezaaid direct na de oogst of groenbemesters worden ook veel toegepast om de grond te beschermen tegen erosie. Het afstromen van water kan ook door inrichtingsmaatregelen worden geremd of opgevangen[40], zoals het aanleggen van retentiebekkens. Door gebruik te maken van niet-kerende grondbewerking vindt opbouw plaats van organische stof in het bovenste gedeelte van de bouwvoor en ontstaat een actief bodemleven met meer regenwormen. De regenwormen zorgen voor macroporiën in de bodem, waardoor de infiltratie van regenwater toeneemt en afspoeling van bodem wordt voorkomen. Het duurt enige jaren voordat de 'schade' van kerende grondbewerking is hersteld. Bij een onderzoek naar erosiebeperkende teeltsystemen in maïs en bieten bleek de hoeveelheid afstromend water en meegevoerde grond van een niet-kerende grondbewerkingsvariant respectievelijk 9 en 56 procent minder te zijn dan van een kerende grondbewerking[42].

Winderosie

Maatregelen ter preventie van winderosie zijn gericht op het bedekt houden van de grond, het verhogen van de cohesie van de grond of het verlagen van de windsnelheid. Maatregelen zoals het aanleggen van bomenrijen of heggen (windsingels) zijn tevens bedoeld om het eventuele geërodeerde zand in te vangen. Deze kunnen zodanig ontworpen en aangelegd worden dat het karakter van het landschap, zoals de weidsheid van de Veenkoloniën, behouden kan blijven[43]. Met minimaal ploegen, gewasrotatie, heggen, windsingels en het bedekken van de kale bodem met papiercellulose of daartoe geschikte gewassen en plantpatronen kan winderosie worden tegengegaan. Het bedekken van de grond in de winterperiode is mogelijk door het toepassen van een wintergewas of groenbemester. Deze maatregelen verhogen ook het gehalte organische stof van de bodem, waardoor de cohesie van de bodem toeneemt. De maatregelen zijn vooral van belang voor de Veenkoloniën in Groningen en Drenthe, als ook zandgronden, vooral in Noord-Brabant, Limburg en Drenthe en enkele bloembolpercelen langs de duinen. In totaal is ongeveer 190.000 hectare matig en 5.000 hectare sterk gevoelig voor winderosie[40].

Conclusies adaptieve maatregelen

In de voorgaande paragraaf zijn adaptieve maatregelen beschreven die in een gebied kunnen worden ingezet.

De TCB concludeert hieruit dat het bodem- en watersysteem een belangrijke bijdrage kan leveren en reeds levert aan klimaatadaptatie. Het gaat bijvoorbeeld om ruimtelijke inrichting die aansluit bij bodem en ondergrond, meer open bodem en groen in de stad, verbeteren van het waterregulerend vermogen van de bodem, ondergrondse opslag van zoetwatervoorraden, aanpassingen in het peilbeheer en gewaskeuze in de landbouw. De effectiviteit en het belang van deze maatregelen voor klimaatadaptatie verschilt per gebied, zoals in bijlage 3, tabel 3 is geïllustreerd. De beschreven maatregelen benutten vaak meerdere ecosysteemdiensten van het bodem- en watersysteem. Zo zorgt

41 Hessel R., J. Stolte en M. Riksen. Huidige maatregelen tegen water- en winderosie in Nederland, WageningenUR/Alterra – BioForsk, Alterra-rapport 2131 in opdracht van ministerie EL&I, 2011.
42 http://www.kennisakker.nl/kenniscentrum/document/nietkerende-grondbewerking-de-strijd-tegen-watererosie.
43 Advies stuifbestrijding, TCB A069(2011).

open bodem en groen in de stad voor een betere waterregulatie en verkoeling en draagt daardoor bij aan minder wateroverlast en –tekort en een gezonder leefklimaat. Bovendien draagt het bij aan mitigatie (zie hierna) door vastlegging van koolstof in bijvoorbeeld de vegetatie van groene daken en nieuwe groengebieden.

MITIGATIE VAN KLIMAATVERANDERING

Onder mitigerende (letterlijk: matigende) maatregelen worden in dit advies de maatregelen verstaan die gericht zijn op het verminderen van klimaatverandering via beperking van de netto uitstoot van broeikasgassen. Grofweg gaat het hierbij om twee categorieën van maatregelen:

- Bodemgebruik en –beheer gericht op vermindering van de uitstoot van broeikasgassen.
- Inzet van hernieuwbare energiebronnen op of in de bodem.

Beleidsopgaven

Voor de vermindering van de uitstoot van broeikasgassen zijn beleidsmatig emissiereductie-doelstellingen vastgesteld op mondiaal (Kyoto), Europees en nationaal niveau. Nederland kent geen emissiereductiedoelstelling voor na 2012[44]. Om de gepresenteerde maatregelen enigszins onderling te kunnen vergelijken en te relateren aan beleidsdoelstellingen is er voor gekozen om de algemene Europese emissiereductiedoelstelling voor 2020 als maatstaf te nemen en deze reductiedoelstelling toe te passen op de uitstoot van broeikasgassen in Nederland. Hierbij wordt primair uitgegaan van de emissie van broeikasgassen vanuit industrie, vervoer, landbouw en gebouwde omgeving. De reductiedoelstelling voor 2020 behelst een afname van de emissie uit deze bronnen van minstens 20 procent ten opzichte van het jaar 1990[45]. Uitgaande van de Nederlandse situatie, met een emissie in het basisjaar 1990 van 213 Mton CO_2-equivalenten[46], moet dan in 2020 de jaarlijkse emissie van broeikasgassen met minstens 43 Mton CO_2-equivalenten gereduceerd zijn tot 170 Mton CO_2-equivalenten.

Reststromen en energieteelt

Biomassa wordt gezien als een duurzame bron voor energie en materialen, omdat geen gebruik gemaakt hoeft te worden van fossiele brandstoffen. Het gebruik van biomassa ter vervanging van fossiele brandstoffen voor energie en als grondstof kan aanzienlijk bijdragen aan de reductie van de emissie van broeikasgassen. Ten opzichte van het fossiele alternatief bedraagt deze vermindering volgens een rapport van het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) tot maximaal 60 procent bij de teelt van energiegewassen en meer dan 80 procent bij het gebruik van organische reststromen[47]. De levering van energie en grondstoffen met biomassa bedroeg in 2011 naar schatting 117 petajoule[46], dat is ruim 3 procent van het primaire energieverbruik in dat jaar[48]. De schattingen van het aanbod van biomassa voor Nederland de komende decennia variëren sterk. Volgens het PBL is 1000 petajoule per jaar in 2050 een optimistische schatting. Dit correspondeert met een vermeden kooldioxide-emissie van 40-54 Mton per jaar ten opzichte van een zelfde hoeveelheid energie van fossiele

---

[44] Op de VN-klimaattop in Doha, Qatar is begin december 2012 besloten het Kyotoprotocol te verlengen tot 2020. Nederland houdt zich ook aan dit protocol en de doelstellingen voor broeikasgasemissies. De klimaattop vond plaats na de dataverzameling voor dit advies en deze doelstellingen zijn daarom niet in het advies betrokken.

[45] CBS, PBL, Wageningen UR (2011). Klimaatverandering: beleid ter vermindering van broeikasgasemissies (indicator 0164, versie 08, 7 april 2011). http://www.compendiumvoordeleefomgeving.nl.

[46] Planbureau voor de leefomgeving, 2012. Balans van de leefomgeving 2012. PBL, Den Haag.

[47] Ros J. *et al*., 2011. Naar een schone economie in 2050: de routes verkend. PBL en ECN. Rapportnr. PBL 500083014.

[48] Primair energieverbruik Nederland: 3250 petajoule; inzet biomassa 117 petajoule (cijfers voor 2011).

brandstoffen[49], maar is grotendeels gebaseerd op geïmporteerde biomassa. In de verkenning van het PBL wordt namelijk verwacht dat het aanbod van in Nederland zelf geproduceerde duurzame biomassa beperkt zal zijn tot ongeveer 200 petajoule per jaar, hoofdzakelijk afkomstig van reststromen vanuit de landbouw, de natuur en de groensector, wat correspondeert met 8 – 10 Mton vermeden kooldioxide-emissie. Het grootste deel van de biomassa wordt dan dus geïmporteerd. Vanuit mondiaal perspectief is het zeer de vraag of het gebruik van deze biomassa tot een netto emissiereductie leidt, omdat de teelt van biomassa elders met een stijging van broeikasgasemissies gepaard kan gaan. Er zijn nog geen algemeen geaccepteerde duurzaamheidscriteria voor de teelt van biomassa. De teelt van energiegewassen kan bijvoorbeeld de voedselproductie verdringen naar onontgonnen gebied, wat gepaard kan gaan met een verlies aan biodiversiteit en extra broeikasgasemissies.

De inzet van biomassa voor energie en grondstoffen heeft consequenties voor het landgebruik en voor de omgang met organische reststromen. Volgens inschatting van het PBL zal het naar verwachting niet aantrekkelijk zijn om op grote schaal energiegewassen te gaan telen in Nederland. De ontwikkelingen hierin zijn sterk afhankelijk van het aanbod van biomassa van buiten Nederland en bijvoorbeeld de grondprijzen. Het zal in Nederland naar verwachting vooral gaan om biomassa uit de organische reststromen. Volgens inschatting van het PBL is het potentieel voor vergisting van biomassa uit reststromen in Nederland (huishoudelijk groente-, fruit- en tuinafval, landbouwresten, mest) beperkt tot enkele tientallen petajoules per jaar ofwel enkele procenten van het huidige aardgasverbruik. Het potentieel voor het gebruik van organische reststromen is ook afhankelijk van technologische innovaties om energie en grondstoffen terug te winnen uit afvalstromen. Hergebruik van stedelijk afvalstromen zou aanzienlijk kunnen bijdragen aan de stedelijke energie- en watervraag[50].

Veel aspecten wegen mee bij de beoordeling van de vraag of in Nederland geproduceerde biomassa duurzaam is en of sprake is van een netto bijdrage aan de emissiereductie van broeikasgassen. Aspecten die meewegen zijn de consequenties van wijziging in landgebruik bij de teelt van energiegewassen, eventuele veranderingen hierbij in gebruik van pesticiden en mest, wijzigingen in transport en verwerking van grondstoffen of producten en consequenties voor terugvoer van organisch materiaal naar de bodem. De TCB is van mening dat voor de beoordeling hiervan grondige levenscyclusanalyses[51] nodig zijn.

---

[49] Het huidig energiegebruik van Nederland bedraagt 3250 petajoule per jaar, waarvan ongeveer 2520 petajoule voor energievoorziening en 630 petajoule voor niet-energetisch gebruik zoals grondstoffen (getallen voor 2011). De totale jaarlijkse CO_2-emissie ten gevolge van het verstoken van fossiele brandstoffen gas, olie en kolen bedraagt 157 Mton per jaar. Deze fossiele brandstoffen bepalen 93 procent van het primaire energiegebruik. Er vanuit gaande dat de genoemde 2520 petajoule voor de energievoorziening voor 93 procent door fossiele brandstoffen wordt gerealiseerd, correspondeert 1000 petajoule energie uit fossiele brandstoffen met 157 * 1000/(0,93*2520) = 67 Mton CO_2-emissie. De vermindering van de uitstoot van broeikasgassen bij het gebruik van biobrandstoffen in plaats van fossiele brandstoffen bedraagt naar schatting maximaal 60 procent voor de teelt van energiegewassen en meer dan 80 procent bij gebruik van organische reststromen. Wanneer 1000 petajoule energie met biobrandstoffen zou worden opgewekt zou dat dus corresponderen met 40 tot 54 Mton minder CO_2-emissie dan de opwekking van dezelfde hoeveelheid energie met fossiele brandstoffen, uitgaande van een range van 60 tot 80 procent. Bron getallen: Ros *et al.*, 2011 (voetnoot 47) en PBL, 2012 (voetnoot 46).

[50] Agudelo-Vera C.M. *et al.*, 2012. *Harvesting urban resources towards more resilient cities. Resources, conservation and recycling* 64, p. 3-12.

[51] Levencyclusanalyse is een methode voor de integrale bepaling van de milieueffecten van producten en diensten. Het word veel toegepast voor de beoordeling van producten (stoffen), maar ook breder voor de beoordeling van bijvoorbeeld productiesystemen. De beoordeling betreft de gehele keten ('levenscyclus'), inclusief bijvoorbeeld aanleg, transport, productie en afvalstromen.

Warmte- en koudeopslag

Door de opslag van warmte of koude in de ondergrond kan efficiënter met energie worden omgegaan waardoor minder broeikasgassen vrijkomen. Aan een verantwoorde toepassing zijn echter voorwaarden verbonden. Zo is 'koude' de belangrijkste waarde van het grondwater die behouden moeten blijven. Het vraagt om een adequate sturing op de temperatuur- en energiebalans van warmtekoudeopslag (WKO) met een maximale temperatuur van het retourwater van 25° Celsius. Het is ook belangrijk dat het gebruik van de bodem, zoals bij WKO, goed rendeert. Een integraal proces van ontwerp, aanleg en beheer van de gehele installatie (zowel ondergrondse als bovengrondse delen) draagt bij aan het behalen van een hoger rendement. Er zijn zo'n duizend open WKO systemen bekend in Nederland. Voor het potentieel van WKO op de langere termijn zijn verschillende schattingen beschikbaar. Het PBL schat de potentiële emissiereductie met WKO in 2050 op 0,5 Mton CO_2 per jaar. Uitgangspunt bij deze schatting was dat WKO rendabel kan worden ingezet, rekening houdend met energieprijzen en investeringskosten[52]. Geschat wordt dat er in 2020 minimaal 3.500 en maximaal 18.000 open systemen zullen zijn[53].

Over de mogelijkheden om WKO in te passen in de stedelijke inrichting zijn inmiddels verschillende studies verschenen die de kansrijkheid bevestigen, mits aan bepaalde voorwaarden voor de kwaliteit van de installaties en ruimtelijke planning wordt voldaan[54,55]. WKO kan in principe overal in Nederland worden toegepast, met uitzondering van kleine gebieden waar watervoerende lagen te dun zijn of ontbreken[52]. Door het ruimtebeslag en de omvang van de grondwaterbenutting van WKO is afstemming met andere functies zoals drinkwaterwinning essentieel.

In Nederland zijn op het ogenblik naar schatting 10.000 gesloten WKO systemen[52]. De TCB heeft eerder aangegeven dat zij op grote schaal toegepaste individuele gesloten systemen niet ziet als een duurzaam gebruik van de ondergrond[56].

Geothermie

Geothermie of aardwarmte is een vorm van duurzame energie die in Nederland goed kan worden geproduceerd door warm water van 45-120° Celsius op te pompen uit watervoerende aardlagen op 1,5 tot 4 kilometer diepte. De warmte kan benut worden ter vervanging van fossiele brandstoffen, zodat de uitstoot van broeikasgassen wordt beperkt. Het potentieel van geothermie lijkt voldoende significant om te dienen als onderdeel van een toekomstige duurzame energiehuishouding. De kans op aanwezigheid van benutbare geothermie is het grootste in gebieden in Groningen, Drenthe, Friesland en Zuid-Holland[52].

De energiebesparing voor verwarmen bedraagt volgens ECN (2009) 60 tot 70 procent, volgens Platform Geothermie (2010) zelfs 70 tot 80 procent. Het PBL schat de potentiële emissiereductie met geothermie in 2050 op 0,5 tot 6 Mton CO_2 per jaar. Uitgangspunt bij deze schatting is dat geothermie rendabel kan worden ingezet, rekening houdend met energieprijzen en investeringskosten[52]. Deze

---

[52] Wijngaart, R. van den, R. Folkert en H. Elzenga, 2012. Naar een duurzamere warmtevoorziening van de gebouwde omgeving in 2050, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.
[53] Boer, S. de *et al.*, 2012. Meer met bodemenergie. SKB Cahier, april 2012.
[54] Oostrom N. en M. Bakr, 2012. Interferentie. Effecten van bodemenergiesystemen op hun omgeving - modellering grootschalige inpassing in stedelijke gebieden. Meer met bodemenergie rapport 7. In opdracht van SKB, Gouda.
[55] Henssen M. en Hartog N., 2012. Inpassing van bodemenergie in gebiedsgericht grondwaterbeheer - kansen en aandachtspunten. Meer met bodemenergie rapport 11. In opdracht van SKB, Gouda.
[56] Advies Duurzaam gebruik bodem voor WKO, TCB A050(2009).

bandbreedte kan kleiner worden als meer kennis over de diepe ondergrond aanwezig is, waardoor de slagingskans van rendabele boringen voor geothermie wordt vergroot[52].

Verminderen veenoxidatie, stimuleren veengroei

Het Nederlandse landoppervlak bestaat voor ongeveer 8 procent uit veengebieden. Het gaat hierbij vooral om laagveengebieden. Het areaal laagveen bedraagt ongeveer 270.000 hectare. Deze gebieden zijn te vinden in Zeeland, Utrecht, Friesland, Groningen, Overijssel en Noord- en Zuid-Holland. Hoogveengebieden komen vooral voor in Oost-Nederland, Noord-Brabant en het zuidoosten van Drenthe en Groningen. Het huidige areaal hoogveen bedraagt ongeveer 5700 hectare (gegevens 2008) en bestaat grotendeels uit gedegenereerd hoogveen, dat wil zeggen dat hier geen veenvorming meer optreedt[57].

Veengronden zijn buitengewoon rijk aan organische stof, en daarmee heel koolstofrijk. Om grasland in laagveengebieden geschikt te houden voor agrarisch gebruik worden deze gebieden ontwaterd door het waterpeil kunstmatig laag te houden. Het veen aldaar oxideert, de bodem daalt en de in het veen vastgelegde koolstof komt als kooldioxide vrij in de atmosfeer. Deze uitstoot van kooldioxide is groter dan de vastlegging ervan. De netto uitstoot ligt in de ordegrootte van 10 tot 25 ton CO_2-equivalenten per hectare per jaar[58]. Dit correspondeert op landelijke schaal met 1,8 tot 4,6 Mton CO_2 equivalenten[59]. Wanneer deze uitstoot vermeden zou kunnen worden, zou de afname van de emissie corresponderen met 4 tot 11 procent van de eerdergenoemde emissiereductiedoelstelling voor 2020.

Maatregelen om deze veenoxidatie tegen te gaan, hebben betrekking op de beïnvloeding van het grondwaterpeil. Door vernatting (verhogen van het grondwaterpeil) wordt veenoxidatie geremd of gestopt. De consequentie van vernatting is dat agrarisch gebruik moeilijker zal worden of zelfs onmogelijk. Een andere maatregel is een combinatie van aanpassen van het grondwaterpeil en toepassen van onderwaterdrains. Met de methode wordt momenteel geëxperimenteerd in de westelijke veenweidegebieden. Onderwaterdrains zijn drainagebuizen die in natte perioden water afvoeren om het land te ontwateren en zo de draagkracht te verbeteren. Hierdoor blijft agrarisch gebruik mogelijk. De drains liggen onder het slootpeil, zodat in droge perioden infiltratie optreedt. De grondwaterstanden zakken zo niet uit en de maaivelddaling door veenoxidatie wordt geremd. De drains liggen circa 10 centimeter onder het slootpeil op onderlinge afstanden van 4 tot 6 meter.

Onderwaterdrains in combinatie met een hoger peil blijken de maaivelddaling aanzienlijk te verminderen. Het gebruik van deze drains betekent echter ook dat er meer water moet worden ingelaten en uitgeslagen. De toename van de watervraag kan volgens een verkennend onderzoek tot 15 procent bedragen[60]. Om deze nadelen te beperken, kan gezocht worden naar optimale combinaties met gewijzigd peilbeheer. In combinatie met een 10 centimeter hoger peil wordt een afname in de maaivelddaling berekend tot ongeveer 5 millimeter per jaar[61], in vergelijking met een in

---

57 Compendium voor de leefomgeving. Heide- en hoogveenareaal 2008. www.compendiumvoordeleefomgeving.nl.

58 Moors, E. et al., 2012. *Integrated observations and modeling of greenhouse gas budgets at the ecosystem level in The Netherlands*. Klimaat voor Ruimte rapportnummer KvR 055/12.

59 Uitgaande van 270000 ha veengebied in Nederland waarvan 68 procent (getal voor het westen) intensief beheerd.

60 Akker, J.J.H. van den, P.C. Jansen en E.P. Querner, 2011. Huidige en toekomstige watervraag van veengronden in het Groene Hart; verkenning naar het effect van onderwaterdrains. Alterra rapport 2142.

61 Jansen P.C., E.P. Querner en J.J.H. van den Akker, 2009. Onderwaterdrains in het veenweidegebied. De gevolgen voor de inlaatbehoefte, de afvoer van oppervlaktewater en voor de maaivelddaling. Alterra-rapport 1872.

de betreffende studie berekende maaivelddaling van ongeveer 10 mm per jaar bij reguliere ontwatering[62]. Uitgaande van een rechtevenredig verband tussen maaivelddaling en veenoxidatie correspondeert dit, bij opschaling naar het gehele veenareaal, met een vermindering van de netto uitstoot van kooldioxide van 0,9 tot 2,3 Mton per jaar.

Vernatting kan echter ook leiden tot verhoogde uitstoot van de broeikasgassen methaan en lachgas, waardoor het gunstige effect van de reductie van de uitstoot van kooldioxide deels teniet wordt gedaan. Methaanfluxen verschillen sterk voor verschillende habitats in veenweidegebieden. Rietmoerassen zijn bijvoorbeeld belangrijke bronnen van methaangas[63]. De kunst is om vernatten van veenweidegebieden zo uit te voeren dat de mate van vastlegging van koolstof groter is dan de emissie van de broeikasgassen[64].

In een op juiste wijze vernat veengebied kan veenvorming plaatsvinden. Een belangrijke factor hierbij is dat geen gebiedsvreemd water wordt aangevoerd. In onderstaand kader is dit toegelicht voor de Wieden-Weerribben, waar door ander hydrologisch beheer momenteel weer koolstof wordt vastgelegd in plaats van uitgestoten.

Kader Wieden-Weerribben

Vanwege de aanvoer van niet ecosysteemeigen Rijnwater heeft het nationaal park Wieden-Weerribben jarenlang een sterke degradatie van veen gekend, wat leidde tot een hoge uitstoot van kooldioxide en methaangas. Door een nieuw beheer te voeren waarbij minder gebiedsvreemd water meer ingelaten wordt en peilfluctuaties weer worden toegestaan, zijn de condities geschapen waarbij veenafbraak is gestopt en zelfs weer in een deel van de petgaten weer veenontwikkeling plaatsvindt. De vastlegging van koolstof bedraagt daar nu circa 1 ton per hectare per jaar, terwijl voorheen dezelfde hoeveelheid werd uitgestoten[65].

Verhogen gehalte organische stof van akkerbouwgrond

Organische stof is belangrijk voor alle ecosysteemdiensten van de bodem. Het speelt een sleutelrol in de nutriëntenhuishouding en waterregulatie[21]. In de landbouw is het gehalte organische stof belangrijk voor de bodemvruchtbaarheid. Het is de vraag of sturen op het organische-stofgehalte in de bodem, naast de betekenis voor klimaatadaptatie via onder andere een betere waterregulatie, ook een rol kan spelen bij mitigatie van klimaatverandering. De organische-stofgehalten op minerale gronden in Nederland blijken gemiddeld redelijk stabiel. Een analyse van data van gehalten organische stof in de bovenste 5 centimeter van grasland en de bovenste 25 centimeter van akkerbouwgrond over de periode 1984-2004 laat voor de meeste van 9 onderscheiden regio's in Nederland een lichte stijging zien[66]. Aanpassen van bodembewerking kan bijdragen aan een verhoging van het gehalte organische stof. Bij de overgang van ploegen naar bodembewerking waarbij het ploegen achterwege wordt gelaten (*no-tillage*) zal de netto koolstofvastlegging liggen in de range van 100 tot 1000 kilogram per hectare per jaar, zo blijkt uit verschillende onderzoeken die zich richten op de ontwikkeling van organische stof in de bouwvoor (0–30 centimeter diepte)[21]. Uitgaande

[62] De maaivelddaling genoemd in deze studie is hoog in vergelijking met andere schattingen. Hoogland *et al*. (2012) komen tot een schatting van maaivelddaling door veenoxidatie van maximaal 8 mm/jaar (Modeling the subsidence of peat soils in the Dutch coastal area. Geoderma 171-172, p. 92-97).

[63] Vermaat J.E. en Aerts M.A.P.A., 2012. *The effect of the spatial arrangement of wetlands on water quality improvement and carbon sequestration*, Synthese-rapport, KvR rapportnummer 049/12.

[64] Moors, E. *et al*., 2012. *Integrated observations and modeling of greenhouse gas budgets at the ecosystem level in The Netherlands.* Klimaat voor Ruimte rapportnummer KvR 055/12.

[65] Pers. med. J. Roelofs, Radboud Universiteit Nijmegen.

[66] Reijneveld A., J. van Wensem en O. Oenema, 2009. *Soil organic carbon contents of Agricultural land in the Netherlands between 1984 and 2004.* Geoderma 152, p. 231-238.

van het totale areaal akkerbouwland in Nederland van ongeveer 850.000 hectare[67] zou dit corresponderen met een potentiële netto CO_2-vastlegging van 0,3 tot 3,1 Mton, ofwel 0,7 tot 7,2 procent van de eerdergenoemde emissiereductiedoelstelling voor 2020. Het bereiken van een nieuw, hoger evenwichtsniveau is iets van de langere termijn (ordegrootte 25 tot 50 jaar). Daarna stopt de netto koolstofvastlegging en deze is dus tijdelijk van aard. Om het effect van een dergelijke verandering in bodembewerking op emissie van broeikasgassen goed in te kunnen schatten, moet het totaal van broeikasgassen in beeld zijn, dus inclusief methaan en lachgas. Voor het totaal aan broeikasgassen zou de balans van *no-tillage* ook ongunstig kunnen uitvallen, door hogere lachgasemissies[21]. Vooralsnog lijkt het belang van het organische-stofgehalte in landbouwbodems vooral bij klimaatadaptatie te liggen (zie aldaar).

Biochar

Biochar is een product van pyrolyse[68] van organische reststromen. Het is een soort houtskool. Door organische reststromen om te zetten in *biochar* en dit vervolgens te mengen in de bodem wordt koolstof vastgelegd en broeikasgasemissie vermeden. Aan *biochar* worden bovendien veel positieve eigenschappen toegedicht voor verbetering van de bodemvruchtbaarheid en andere diensten van de bodem, zoals het waterbufferend vermogen. De werkzaamheid van *biochar* wordt onderzocht in een Europees onderzoek waar 13 landen bij betrokken zijn, waaronder Nederland[69]. Het onderzoek is gestart in 2009 en loopt tot einde 2013. Er zijn nog veel onderzoeksvragen met betrekking tot het potentieel voor langdurige opslag van koolstof in de bodem, de toegedichte waarden van *biochar* op de bodemvruchtbaarheid en de effecten op de het bodemleven. Op dit moment is nog niet goed aan te geven wat de potenties van *biochar* voor Nederland zijn.

Vastleggen van koolstof via duurzame bosbouw

Het areaal bos in Nederland beslaat naar schatting 10 procent van het landoppervlak, ofwel ongeveer 340.000 hectare. Dat is inclusief de bomen buiten de aangesloten bosgebieden. Op landelijke schaal wordt jaarlijks in bossen netto ongeveer 2,5 Mton kooldioxide vastgelegd[70]. Dit correspondeert met een netto koolstofvastlegging van 2000 kilogram per hectare per jaar, voor een gemiddeld bos[39]. Een verdubbeling van het areaal bosgebied in Nederland zou dan corresponderen met een potentiële netto extra CO_2-vastlegging van 2,5 Mton, ofwel 6 procent van de eerdergenoemde emissiereductiedoelstelling voor 2020. De mate waarin een bos koolstof vastlegt is afhankelijk van de boomsoort, de groeicondities en vooral de ouderdom van de boom. De eerste tientallen jaren van de ontwikkeling van een bos wordt veel koolstof vastgelegd in de toenemende biomassa (bovengronds en ondergronds). Als een bos na 50 tot 100 jaar is volgroeid dan wordt er netto geen koolstof meer vastgelegd. Een klimaateffect is dus vooral in de eerste decennia te realiseren, door de aanleg van nieuwe bossen. In het huidige rijksbeleid is geen sprake meer van een uitbreidingsdoelstelling voor bos[71].

---

[67] Zonder het areaal maïsteelt voor veevoeding.
[68] Pyrolyse: verhitting zonder zuurstof.
[69] Project *Biochar-climate saving soils*, Wageningen Universiteit (WUR):
http://www.*kennisonline.wur.nl/Project/project-baps-24301#linkblockbookmark.*
[70] Coenen *et al*., 2012. *Greenhouse Gas Emissions in the Netherlands 1990-2010 : National Inventory Report 2012. RIVM report 680355007.*
[71] Aldus G. Hof, team Natuur en Ondernemen, directie Natuur en Biodiversiteit, DG Natuur en Regio van EL&I.

Areaal grasland en graslandbeheer

Het areaal grasland in Nederland bedraagt ongeveer 980.000 hectare, ongeveer de helft van het landbouwareaal. Ongeveer 80 procent hiervan is permanent grasland. In grasland buiten de veengebieden is de koolstofvastlegging groter dan de emissie van broeikasgassen, uitgedrukt in CO_2-equivalenten. De netto vastlegging op minerale gronden bedraagt gemiddeld ongeveer 3300 kilogram kooldioxide per hectare per jaar[72]. Dit komt neer op een gemiddelde vastlegging van 2,4 Mton kooldioxide per jaar uitgaande van het areaal grasland buiten veengebieden. In de akkerbouw is gemiddeld sprake van een netto emissie van kooldioxide. Voor de Europese akkerbouw bedraagt dit gemiddeld (met een grote spreiding) ongeveer 4000 kilogram kooldioxide per hectare per jaar[73]. Uitgaande van dit indicatieve getal zou omschakeling van akkerbouw naar permanent grasland dus ongeveer 7000 kilogram kooldioxide per hectare per jaar bijdragen aan de netto vastlegging van CO_2. Bij een omzetting van het volledige akkerbouwareaal in grasland zou het gaan om 6 Mton per jaar, ofwel 14 procent van de eerdergenoemde emissiereductiedoelstelling voor 2020. Het minder vaak scheuren van grasland draagt significant bij aan de reductie van broeikasgasemissies[21]. Geschat is dat hiermee een reductie van de lachgasemissie op nationaal niveau tot 0,8 Mton CO_2-equivalenten wordt bereikt[74]. Er zijn instrumenten beschikbaar, zoals de klimaatmeetlat, waarmee een melkveehouder voor zijn eigen bedrijf de emissie van broeikasgassen kan berekenen afhankelijk van onder andere veevoeding, bemesting en landgebruik[75].

Conclusies mitigerende maatregelen

In tabel 1 (volgende bladzijde) zijn de mitigerende effecten samengevat. De waarden zijn indicatief, vanwege de vaak grote onzekerheden die aan de schattingen ten grondslag liggen.

Hoewel de in dit advies gepresenteerde schattingen indicatief zijn, concludeert de TCB dat het bodem- en watersysteem potentieel een substantiële bijdrage kan leveren aan de doelstellingen voor emissiereductie. De te realiseren bijdrage hangt onder andere af van keuzes in landgebruik. De maatregelen dienen breed afgewogen te worden tegen andere ecosysteemdiensten van het bodem- en watersysteem. De TCB adviseert ook om de mogelijke bijdrage van de genoemde maatregelen aan emissiereductie nader te onderbouwen met levenscyclusanalyses, zodat ook eventueel tegengesteld werkende effecten in beeld komen.

---

72 Hutjes R.W.A., R. de Waal en E.J. Moors, 2009. *Full carbon accounting: mission impossible? Climate Science News from the Netherlands. Climate Research Netherlands, Research Highlights*, pp. 14-21.

73 Freibauer *et al.*, 2004. *Carbon sequestration in Agricultural soils of Europe*. Geoderma 122 (2004).

74 Kasper G.J. *et al.*, 2002. Beperking van lachgasemissie na scheuren en bij vernieuwing van grasland. Eindrapport reductieplan overige broeikasgassen Landbouw cluster 1. Alterra-rapport 560.5.

75 Elferink *et al.*, 2008. Klimaatlat melkveehouderij. Gebruikershandleiding. CLM, 2008.

Tabel 1. Samenvatting van de indicatieve kwantificering van mitigerende maatregelen. Ter vergelijking: de reductiedoelstelling voor de jaarlijkse emissie bedraagt, uitgaande van de Europese doelstelling voor 2020, 43 Mton CO_2-equivalenten per jaar.

Maatregel	Potentiële emissiereductie in Mton CO_2-equivalenten per jaar, indicatieve waarden (toelichting op de waarden in de hoofdtekst)
Stoppen veenoxidatie door hoger waterpeil	1,8 - 4,6
Verminderen veenoxidatie door onderwaterdrains en peilaanpassing	0,9 - 2,3
Stimuleren veengroei	(nog) geen schatting mogelijk
Overgaan naar niet-kerende grondbewerking	negatief tot 3,1
Biochar	(nog) geen schatting mogelijk
Toename bosareaal	2,5 (bij verdubbeling)
Toename grasareaal	maximaal 6
Overgaan naar niet scheuren van grasland	0,8
Gebruik biomassa voor energie	negatief tot 10
Warmtekoudeopslag	0,5
Geothermie	0,5 - 6

3. DUURZAME GEBIEDSONTWIKKELING

In het vorige hoofdstuk is geïllustreerd welke ecosysteemdiensten het bodem- en watersysteem kan leveren als bijdrage aan klimaatadaptatie en mitigatie van klimaatverandering en welke maatregelen daartoe ingezet kunnen worden. De maatregelen kunnen een substantiële bijdrage leveren aan het behalen van beleidsopgaven met betrekking tot klimaat. Ze kunnen worden gezien als een aanvulling op meer civieltechnische maatregelen. Het daadwerkelijk realiseren van genoemde maatregelen vanuit het bodem- en watersysteem kan gebeuren via duurzame gebiedsontwikkeling of herinrichting. In het voorliggende hoofdstuk schetst de TCB welke mogelijkheden daartoe bestaan en welke aandachtspunten belangrijk zijn.

Handvatten voor gebiedsontwikkeling

Een klimaatgerichte gebiedsontwikkeling kan gezien worden als onderdeel van duurzame gebiedsontwikkeling, wanneer in voldoende mate adaptieve en mitigerende maatregelen worden genomen en het beheer van een gebied erop wordt aangepast. Benutting van het bodem- en watersysteem levert een stapeling van ecosysteemdiensten die de gebiedsontwikkeling een duurzamer karakter geven.

Welk type maatregelen het beste genomen kan worden, hangt af van de lokale omstandigheden en daarmee samenhangend de (kosten)effectiviteit van de maatregelen[76]. Daarbij merkt de TCB op dat bijdragen van het bodem- en watersysteem aan adaptatie en mitigatie in de regel ook sterk bijdragen aan andere maatschappelijke opgaven, zoals natuur, biodiversiteit en gezondheid, en zeker op de lange termijn veelal goedkoper zijn in onderhoud. De TCB beveelt aan bij twijfel over de kosteneffectiviteit een maatschappelijke kosten-batenanalyse[77] te laten uitvoeren.

[76] De twee tabellen van bijlage 3 geven een globale indicatie van de effectiviteit van uiteenlopende maatregelen.
[77] Bijvoorbeeld met behulp van de volgende publicatie: Diverse gemeenten, ministeries en organisaties. Groen loont met TEEB stad – Gemeenten redeneren, rekenen en verdienen met de baten van natuur en water. TEEB: The Economics of Ecosystems and Biodiversity, 2012.

De wijze waarop met behulp van het bodem- en watersysteem kan worden gekomen tot een duurzame, klimaatgerichte gebiedsontwikkeling is sterk afhankelijk van de volgende gebiedskenmerken: hoogteligging, grondsoort(en) en diversiteit daarin, waterhuishouding, microreliëf, landgebruik, infrastructuur en blootstelling aan wind. Het gaat om het realiseren van een optimale afstemming van lokaal gebruik op de mogelijkheden van het onderliggende bodem- en watersysteem. Soms kan aanzienlijke winst bereikt worden door het bodemgebruik te veranderen. Vaak zal het gaan om meervoudig ruimtegebruik, dat wil zeggen dat de lokale inrichting bevordert dat meerdere ecosysteemdiensten van het bodem- en watersysteem gelijktijdig voor uiteenlopende mitigatie-, adaptatie- en andere maatschappelijke opgaven voor dat gebied kunnen worden benut.

De maatregelen vanuit het bodem- en watersysteem moeten aansluiten bij de potenties van het bodem- en watersysteem ter plekke. Het gaat hierbij zowel om chemische, fysische en biologische, als kwantitatief-ruimtelijke voorwaarden voor optimalisering van de levering van diensten. Er zal rekening gehouden moeten worden met een traject van jaren wat voorwaarden en levering van diensten betreft. Dit bepaalt de verhouding tussen investeringen en opbrengsten.

Er is een groot aantal voorbeelden van lokale projecten waarin ecosysteemdiensten van het bodem- en watersysteem worden ingezet om tot adaptatie aan en mitigatie van klimaatverandering te komen[78]. De initiatieven hiervoor komen vaak voort uit wat tegenwoordig met de 'energieke samenleving'[79] wordt omschreven. Ze worden ondersteund door bijvoorbeeld onderzoeksprogramma's. De rijksoverheid kan hier een faciliterende rol innemen, door bijvoorbeeld kennisoverdracht te bevorderen, onderzoeksprogramma's (mee) te financieren, beslissingsondersteunend instrumentarium (mee) te ontwikkelen, of door kaderstellende regelgeving op te stellen. Veel van deze activiteiten worden thans al door het Rijk ondernomen. Als het Rijk ervoor kiest om het bodem- en watersysteem sterker in te zetten voor het behalen van nationale beleidsopgaven op het gebied van klimaat, is ook op nationaal niveau regie nodig.

Instrumentarium voor maatschappelijke partijen

Er zijn verschillende instrumenten ontwikkeld om tot duurzame gebiedsontwikkeling te komen, waarvan een aantal in opdracht van het Rijk. Het is zaak om klimaatmaatregelen via het bodem- en watersysteem nadrukkelijk te verbinden aan deze instrumenten.

Uit de ervaring met een groot aantal projecten komt naar voren dat klimaatgerichte gebiedsontwikkeling via het bodem- en watersysteem in een vroeg stadium van het ruimtelijk planproces moet worden ingebracht. Maatschappelijke wensen en opgaven zullen hierbij gecombineerd moeten worden met de gewenste bodemkwaliteit, gewenste waterhuishouding en de maatregelen die voor adaptatie en mitigatie het meest gunstig zijn. Het is nodig om in een vroeg stadium alle belanghebbenden te betrekken. Omdat het aangeven van lokale mogelijkheden en vereisten voor een bodemgebied veel specifieke deskundigheid vergt, is het noodzakelijk dat stedenbouwkundigen al vanaf het eerste begin van het proces samenwerken met deskundigen op het gebied van het bodem- en watersysteem.

Het is daarnaast van belang dat al vanaf het allereerste begin van een proces van gebiedsontwikkeling of herinrichting van een gebied beschikbare bodemkaarten worden gebruikt.

78 Pötz H en P. Bleuzé, Groenblauwe netwerken voor duurzame en dynamische steden, april 2012.
79 Hajer M. De energieke samenleving – op zoek naar een nieuwe sturingsfilosofie voor een schone economie. Planbureau voor de Leefomgeving, 2011.

Ook kaarten met het huidige grondgebruik en kansenkaarten voor ecosysteemdiensten[80] dienen vroegtijdig te worden benut. Deze aanpak sluit aan bij de ideeën die de TCB naar voren heeft gebracht voor een bredere omgevingstoets in het kader van de Omgevingswet[10]. Het vroegtijdig betrekken van nationale kaarten of structuurvisies is een andere voorwaarde voor duurzame, klimaatgerichte (her)inrichting van een gebied. Deze kaarten kunnen regionale potenties aangeven voor typen grondgebruik aan de hand van de bodemsamenstelling. Ook kunnen ze gebieden aanduiden waar klimaatmaatregelen vanuit het bodem- en watersysteem een relatief groot effect zullen sorteren. Bovendien kunnen ze een indicatie geven van de bijdragen die verschillende regio's zouden kunnen leveren aan het behalen van nationale opgaven met betrekking tot adaptatie en mitigatie. De verschillende ontwikkelingsgebieden kunnen aan de hand daarvan ook hun voortgang monitoren. In de praktijk van gebiedsontwikkeling blijkt daarnaast dat het twee- of driedimensionaal aangeven van noodzakelijke ruimtelijke reserveringen voor bepaalde bodemmaatregelen en -diensten erg belangrijk is[10, 81].

De tabel op de volgende pagina toont een niet-uitputtend overzicht van beschikbare instrumenten die van nut kunnen zijn bij het daadwerkelijk realiseren van maatregelen vanuit het bodem- en watersysteem via processen van ruimtelijke (her)inrichting.

Beleid op nationaal niveau

De overheid kan maatschappelijke partijen faciliteren door te zorgen voor een goede kennisvoorziening. Bij de TCB bestaat de indruk dat er voor klimaatmaatregelen via het bodem- en watersysteem veel kennis is, maar dat die kennis nog weinig toegankelijk is[20]. AgentschapNL ontwikkelt momenteel een (kennis)loketfunctie gericht op ecosysteemdiensten, veerkracht en adaptief watermanagement[82]. Deze loketfunctie zou versterkt kunnen worden richting adaptatie- en mitigatiemaatregelen. Ook de (lokale) succes- en faalfactoren en het benodigde beheer na de inrichting zou meegenomen kunnen worden. Hierbij zal er veel aandacht moeten zijn voor meervoudig ruimtegebruik en de daaruit voortvloeiende samenloop met andere maatschappelijke opgaven, zoals natuur, biodiversiteit, kwaliteit en kwantiteit van het bodem- en watersysteem, gezondheid en recreatie. In de toekomst lijkt het nuttig om de (kennis)loketfunctie te koppelen aan delen van de startpagina Bodemvizier die richting klimaat zijn uitgebreid.

Indien de overheid ervoor kiest om het bodem- en watersysteem in te zetten voor het behalen van beleidsopgaven met betrekking tot klimaat is regie vanuit het rijk noodzakelijk. Zo zou de voorwaarde gesteld kunnen worden dat ieder ruimtelijk ontwikkelingsplan of (her)inrichtingsplan een klimaatdoelstelling meekrijgt, afhankelijk van het type gebied en de omvang. Deze klimaatdoelstelling heeft betrekking op adaptatie en mitigatie. Klimaatadaptatie is, afgezien van de kustverdediging, een sterk lokale of regionale opgave. Deze opgave kan bijvoorbeeld in termen van maximaal toelaatbare overstromingsfrequentie (frequentie van water op het land of in de straat) en frequentie van voorkomen van hitte-eilanden in een stedelijke omgeving worden uitgedrukt. Mitigatie van klimaatverandering is een landelijke opgave. De landelijk afgesproken emissie van CO_2-equivalenten is hierbij maatgevend.

80 Gulickx M.M.C. en K. Kok, *Mapping landscape services: comparison and integration of a government and scientific approach.* In voorbereiding voor het blad *Landscape Ecology*.
81 SKB-Duurzame ontwikkeling ondergrond, Duurzaam Doenderzoek in de Zeeuwse Delta – Ecosysteemdiensten in de praktijk, 2011.
82 Pers. med. G. van Eijsden, AgNL/Bodem+, oktober 2012.

Tabel 2. Instrumentarium voor implementatie klimaatmaatregelen vanuit bodem- en watersysteem; een niet-limitatieve opsomming van beschikbaar instrumentarium.

Duurzame gebiedsontwikkeling algemeen	
Triple-O-aanpak	Praktische werkwijze ten behoeve van het benutten van ecosysteemdiensten in de praktijk van duurzaam bodembeheer & gebiedsontwikkeling. http://www.agentschapnl.nl/content/triple-o-aanpak-ontdekken-overeenkomen-ontwikkelen
Impuls Lokaal Bodembeheer	Adviseringsmogelijkheid vanuit het Rijk ter vergroten van de deskundigheid van decentrale overheden op het gebied van duurzaam bodembeleid en het hanteren van de Triple-O aanpak. http://www.agentschapnl.nl/onderwerp/impuls-lokaal-bodembeheer-2012
Duurzaamheids-profiel op locatie	Instrument dat de duurzaamheid van wijken meet en vergelijkt met een vrij te kiezen referentiewijk. http://www.agentschapnl.nl/content/duurzaamheidsprofiel-van-een-locatie-dpl
Lagenbenadering	Methode om een analyse te maken van de ruimtelijke structuren in een gebied en zijn omgeving. Het geeft een beeld van de geschiktheid van een bepaalde locatie voor bepaalde gebiedsontwikkelingen en verschaft inzicht in eventueel optredende conflicten tussen de lagen en/of functies. ruimtewww.ruimtexmilieu.nl
Routeplanner Bodemambities	Portaal. Levert kennis, instrumenten en praktijkvoorbeelden over bodem en ondergrond. Te gebruiken bij ruimtelijke projecten (Rijksoverheid). www.bodemambities.nl
Bodemvizier	Portaal. Vizier op kennis, praktijkvoorbeelden en instrumenten voor bodem en ondergrond. http://www.agentschapnl.nl/attention/bodemvizier
GezondOntwerpWijzer	Bundelt kennis over een gezond ontwerp en bijbehorende inrichting van de leefomgeving. Levert daarnaast instrumenten en praktijkvoorbeelden https://www.atlasleefomgeving.nl/web/gow
MapTable e.a.	Interactief computersysteem met aanraakscherm voor het verbeteren van ruimtelijk ontwerp en planningprocessen (WUR/Alterra) http://www.gebiedskunde.wur.nl/NR/rdonlyres/B4E7D2B8-D70C-4C56-B464-01ED9C702433/94697/MapTablePresentatie22102009v03.pdf.
Bodem- en klimaatmaatregelen	
Kennis voor Klimaat	Portaal. Onderzoekprogramma voor de ontwikkeling van kennis en diensten die het mogelijk maken Nederland klimaatbestendig te maken. http://kennisvoorklimaat.klimaatonderzoeknederland.nl/
Klimaatportaal	Portaal. Website van het samenwerkingsverband klimaatwetenschappers PCCC. Levert actuele wetenschappelijke kennis over het klimaat en klimaatverandering. www.klimaatportaal.nl
Klimaatwijzer	Handreiking voor het tijdig omgaan met de gevolgen van klimaatverandering in ruimtelijke planprocessen. Biedt ondersteuning bij het maken van klimaatbewuste keuzes in ruimtelijke plannen. (Rijksoverheid) http://www.rijksoverheid.nl/documenten-en-publicaties/rapporten/2009/10/01/klimaatwijzer.html
Praktijkboek Ruimte voor Klimaat	Voorbeelden van projecten waar klimaatadaptatie in de praktijk wordt gebracht. Het geeft tips en biedt ondersteunende instrumenten voor klimaatbestendig plannen en inrichten. http://www.ruimtevoorklimaat.nl/home.
Gidsmodellen Lagenbenadering	Hulpmiddel om bodem/ondergrond, water én groen/landschap te integreren op de schaalniveaus van regio, stad en wijk/park. www.gidsmodellen.nl

Om lokale en regionale mitigerende klimaatmaatregelen via het bodem- en watersysteem te bevorderen, zou ook landgebruik inclusief beheer opgenomen kunnen worden in de nationale emissieregistratie. Voor zowel adaptatie als mitigatie via het bodem- en watersysteem is daarnaast ruimte nodig, zoals voor bos, gras, wateropvang, groen et cetera. Hiervoor zijn ruimtelijke reserveringen nodig, waarbij meervoudig ruimtegebruik cruciaal is.

Monitoren van duurzame gebiedsontwikkeling levert informatie waarmee de effectiviteit van inspanningen kan worden vastgesteld. Het draagt bij aan het maatschappelijk leerproces. De TCB adviseert om bestaande meetnetten en programma's te benutten voor het landelijk monitoren van het benutten van het bodem- en watersysteem bij het behalen van beleidsopgaven met betrekking tot klimaat.

Keuzes en prioriteiten

Maatregelen die adaptatie, mitigatie en andere ecosysteemdiensten combineren, zijn vaak het meest kosteneffectief. Lokale keuzen kunnen mede gebaseerd worden op de tabellen van bijlage 3. Hieronder staan enkele effectieve mogelijkheden voor stedelijk en landelijk gebied.

Bedacht kan worden dat in *stedelijke gebieden* veel mensen profiteren van een veilig leefmilieu en een beter gereguleerd leefklimaat. Het vergroten van het oppervlak onverharde, open bodem en het vasthouden van water heeft bij stedelijke herinrichting dan ook hoge prioriteit. Ook het aanpassen van peilbeheer kan snel een groot effect hebben op de waterregulatie. Met lokaal peilbeheer in de stedelijke omgeving kan paalrot en verzakken van woningen worden tegengaan. Het verhogen van het oppervlak open water en robuust groen in steden kan effectief bijdragen aan een verbeterd leefklimaat en afname van hittestress. Daarnaast kan het groen een bijdrage leveren aan de verminderde netto uitstoot van broeikasgassen.

Het *landelijk gebied* kan door zijn grotere oppervlakte en open bodems goed ingezet worden om een bijdrage te leveren aan mitigatie van klimaatverandering, al verschillen de opties per gebied. Belangrijke adaptieve maatregelen hebben betrekking op het waterregulerend vermogen van de bodem, ondergrondse opslag van zoetwatervoorraden, aanpassingen in het peilbeheer en gewaskeuze in de landbouw. Het verbeteren van de fysische bodemkwaliteit kan over een periode van verschillende decennia een belangrijk toenemend effect sorteren. Een juiste inrichting van droog-natovergangen is effectief om een groeiende infectiedruk en plagen te weren. De kansen die klimaatverandering bieden, kunnen ook benut worden door het aanpassen van gewassen, varianten en teeltwijzen.

Voor wat betreft prioriteiten tussen klimaatdiensten en overige diensten van het bodem- en watersysteem geldt dat deze diensten voortkomen uit eenzelfde vitaliteit van dit natuurlijke systeem. Niet-klimaatgerelateerde diensten zijn om andere redenen belangrijk voor mens, natuur en economie. Daarom dient de afweging tussen verschillende bodemmaatregelen altijd plaats te vinden binnen de randvoorwaarden van een vitaal bodem- en watersysteem.

Schaalniveaus en partijen

Bij de realisatie van de aangegeven maatregelen via het bodem- en watersysteem zijn verschillende perioden, schaalniveaus en partijen betrokken. Tezamen kunnen de betrokken partijen synergie tot stand brengen. Optimaal resultaat kan bereikt worden door een gecombineerde en gecoördineerde inzet vanuit verschillende partijen. *Green deals* kunnen een nuttig instrument hierbij zijn.

Op lokale schaal kunnen stadbewoners bijvoorbeeld groene daken aanleggen en gemeentebesturen het verhardingsoppervlak verminderen. Landbouwers kunnen onder meer niet-kerende grondbewerking toepassen en grasland minder scheuren. Op regionale schaal kunnen waterschappen en landbouwers veenoxidatie verminderen door het verhogen van waterpeilen. Ook kunnen gemeenten, natuur- en landschapsorganisaties en/of Staatsbosbeheer in onderlinge samenwerking nieuwe bossen aanplanten en beheren. Op bovenregionale schaal zou de energiesector kunnen overgaan op het gebruik van organische reststromen en energieteelt of zou de landbouwsector de potenties van *biochar* verder kunnen onderzoeken.

Kennisleemten

Tijdens de ontwikkeling van dit advies manifesteerde zich een belangrijke kennisleemte met betrekking tot de kosten en baten van de verschillende maatregelen. Kwantitatieve kennis over de fysieke en kwaliteitsverhogende effecten (baten) van de maatregelen is vaak versnipperd en uitgedrukt in lastig vergelijkbare eenheden. De corresponderende financiële kosten en baten, ondermeer de financiële vertaling op bedrijfsniveau[20], zijn zeer beperkt in literatuur te vinden. Kwantitatieve gegevens over de waterhuishoudkundige effecten van bodemverbeterende maatregelen ontbreken grotendeels.

Een gerelateerde kennisleemte bleek aanwezig met betrekking tot levenscyclusanalyses van de voorgestelde maatregelen. Dat wil zeggen, er ontbreekt kennis over de totale milieubelasting die een maatregel genereert, bezien over een hele levenscyclus van de dienst of het product, zoals de toevoer van de benodigde nutriënten, levering, transport, gebruik en vertering van stoffen. De TCB beveelt aan om bovengenoemde kennis te gaan verwerven.

4 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Algemeen

De TCB is er bij dit advies vanuit gegaan dat (de oorzaken van) klimaatverandering en eventuele gevolgen daarvan in grote lijnen bekend zijn, evenals de beleidsopgaven met betrekking tot klimaat en de stand van zaken ten aanzien van de opgaven. In de adviesaanvraag (bijlage 1) is een aantal vragen aan de TCB voorgelegd. De TCB heeft daar de volgende hoofdvraag uit gedestilleerd: hoe is het bodem- en watersysteem in te zetten voor het verhogen van de klimaatbestendigheid en het terugdringen van de netto uitstoot van broeikasgassen. Daarbij gaat de TCB, conform de adviesaanvraag, in op de ruimtelijke consequenties van het inzetten van het bodem- en watersysteem voor deze doeleinden.

De adviesaanvraag noemt duurzame gebiedsontwikkeling, herstructurering, herinrichting krimpgebieden, *main-, brain- en greenports* en klimaatbestendige woonwijken als aandachtsgebieden en legt vervolgens de nadruk op het stedelijk gebied. De TCB meent dat adaptatie aan en mitigatie van klimaatverandering opgaven zijn voor zowel het stedelijk als het landelijk gebied. Wat waar het beste kan worden gerealiseerd zou onderdeel moeten zijn van de ruimtelijke afweging. De TCB beveelt aan dit advies te delen met andere overheden.

De TCB heeft maatregelen geïnventariseerd waarmee het bodem- en watersysteem kan bijdragen aan adaptatie en mitigatie. Daarbij zijn ook de tijdschaal, effectiviteit en toepassingsgebied aangegeven. De algemene conclusie is dat het bodem- en watersysteem een significante bijdrage kan leveren aan zowel adaptatie als mitigatie, zowel in het landelijk als het stedelijk gebied. Voor mitigatie is deze conclusie indicatief kwantitatief onderbouwd; voor adaptatie lag dit niet binnen de mogelijkheden.

Antwoord op de adviesvragen

Vraag 1.
Op welke wijze is het water- en bodemsysteem mee te nemen in de beoordeling van de ruimtelijke consequenties van klimaatadaptatie? Welke ruimtelijke dilemma's treden hierbij op en welke randvoorwaarden vloeien voort uit het duurzaam inzetten van het bodem- en watersysteem? Welke indicatoren zijn in te zetten en welke zijn hierbij prioritair?

De TCB heeft deze vraag verruimd naar mitigatie van klimaatverandering. Om het bodem- en watersysteem mee te nemen dient bij ieder project met ruimtelijke consequenties vroegtijdig de vraag gesteld te worden welke opgave er voor dat project is ten aanzien van adaptatie en mitigatie. De TCB is van mening dat er in ieder ruimtelijk project een opgave ligt. Daarnaast kan ook worden gekeken in hoeverre er bovenop de opgaven nog een bijdrage kan worden geleverd in het kader van een verdienmodel. Welk type maatregelen het beste genomen kan worden, hangt af van de lokale omstandigheden en daarmee samenhangend de (kosten)effectiviteit van de maatregelen.

Met betrekking tot adaptieve maatregelen geldt dat de effecten van klimaatverandering verschillen per regio; lokale en regionale omstandigheden bepalen de aard van de effecten. Dit betekent dat de noodzaak en effectiviteit van adaptieve maatregelen tussen gebieden verschilt. De TCB beveelt aan bij de beoordeling hiervan een landschappelijke indeling te gebruiken met de volgende hoofdindeling: laag Nederland en de kust, het rivierengebied, het zandlandschap, het Limburgse heuvellandschap en het hoogveenontginningslandschap. Voor de ondergrond kan deze indeling worden aangevuld met de EU-grondwaterlichamen in Nederland.

De TCB voorziet dilemma's vooral in de noodzaak om ruimte te reserveren voor open bodem en groen in stedelijk gebied, wat in groeigebieden tot een ruimere reservering van urbaan gebied kan leiden en ingaat tegen de algemene trend van het bouwen binnen de bestaande bebouwings-contouren. Het herontwikkelen van *brownfields* en andere verouderde bedrijventerreinen en woonwijken kan dit tegengaan. In het landelijk gebied is het dilemma vooral gelegen in het feit dat adaptieve en mitigerende maatregelen aanpassing van het bodemgebruik en -beheer vergen, wat consequenties kan hebben voor de sociaaleconomische ontwikkeling in een gebied. Slim combineren met ander gebruik en andere verdienmodellen kunnen hier oplossingen bieden. Bijdragen van het bodem- en watersysteem aan adaptatie en mitigatie dragen in de regel ook sterk bij aan andere maatschappelijke opgaven, zoals natuur, biodiversiteit en gezondheid en dergelijke maatregelen zijn zeker op de lange termijn veelal goedkoper in onderhoud. Om deze baten goed te kunnen meewegen in afwegingen over de inzet van het bodem- en watersysteem, beveelt de TCB aan om maatschappelijke kosten-batenanalyses te laten uitvoeren.

De belangrijkste randvoorwaarde voor het bijdragen van het bodem- en watersysteem is dat ecosystemen goed functioneren. Hiervoor is het cruciaal om voor een goede bodem-, water-, en luchtkwaliteit te zorgen. Het bestaande preventieve milieubeleid moet hiervoor op zijn minst gehandhaafd worden. Extra aandacht is wellicht nodig voor de toenemende aanvoer van biomassa ten behoeve van een groene energievoorziening, ook vanuit het buitenland.

Een meer praktische randvoorwaarde is het vroegtijdig betrekken van informatie over het bodem- en watersysteem in het betreffende gebied, bijvoorbeeld in de vorm van kaartmateriaal. Deze kaarten kunnen locaties aanduiden waar klimaatmaatregelen vanuit het bodem- en watersysteem mogelijk zijn en een relatief groot effect zullen sorteren. In de praktijk van gebiedsontwikkeling blijkt ook dat

het twee- of driedimensionaal aangeven van noodzakelijke ruimtelijke reserveringen voor bepaalde bodemmaatregelen en -diensten erg belangrijk is.

De TCB ziet als belangrijkste acties en indicatoren voor duurzame gebiedsontwikkeling: reductie emissie broeikasgassen, verhogen hoeveelheid open bodem in de stad, verlagen frequentie van wateroverlast, verminderen watertekorten en verdroging, verhogen welzijn in de stedelijke omgeving, volgen verschuiving drinkwatervoorziening, volgen verschuiving in landbouwgewassen en volgen van het voorkomen van ziekten en plagen. Om lokale en regionale mitigerende klimaatmaatregelen via het bodem- en watersysteem te bevorderen, beveelt de TCB aan om landgebruik met bijbehorend bodembeheer op te nemen in de nationale CO_2-emissieregistratie.

Vraag 2.
Op welke wijze kan het bodem- en watersysteem worden ingezet om te komen tot slimme combinaties en waar liggen de mogelijkheden tot innovatie?

Met betrekking tot innovatie denkt de TCB bij adaptieve maatregelen in de stad aan groene daken, stadslandbouw en gebruik van waterdoorlatende materialen. Bij adaptatie en mitigatie in het landelijk gebied denkt de TCB aan onderwaterdrains, die in combinatie met een hoger waterpeil volgens scenarioberekeningen maaivelddaling aanzienlijk verminderen. Uitgaande van een rechtevenredig verband tussen maaivelddaling en veenoxidatie correspondeert dit, bij opschaling naar het gehele veenareaal, met een vermindering van de netto uitstoot van kooldioxide van indicatief 0,9 tot 2,3 Mton per jaar. Verder worden er instrumenten ontwikkeld, zoals de klimaatmeetlat, waarmee een melkveehouder voor zijn eigen bedrijf de emissie van broeikasgassen kan berekenen afhankelijk van onder andere veevoeding, bemesting en landgebruik.

Vraag 3.
Welke gevolgen heeft klimaatverandering op de diensten die het bodem – en watersysteem kan leveren in een verstedelijkende delta? Welke diensten zijn bruikbaar bij klimaatadaptieve verstedelijking? Op welke wijze kan stedelijke inrichting bijdragen aan mitigatie van klimaatverandering? Wat betekent dit voor het te ontwikkelen beleidskader? Is er een prioritering aan te brengen naar profijt van bepaalde diensten onder verschillende omstandigheden?

Het bodem- en watersysteem heeft reeds een belangrijke bijdrage geleverd aan klimaatadaptatie en kan dit in de toekomst ook doen. Het gaat om ruimtelijke inrichting die aansluit bij de eigenschappen van bodem en ondergrond, meer open bodem en groen in de stad, verbeteren van het waterregulerend vermogen van de bodem, ondergrondse opslag van zoetwatervoorraden, aanpassingen in het peilbeheer en gewaskeuze in de landbouw. De beschreven maatregelen benutten vaak uiteenlopende ecosysteemdiensten van het bodem- en watersysteem. Zo zorgt open bodem en groen in de stad voor een betere waterregulatie en verkoeling. Het draagt daardoor bij aan minder wateroverlast en –tekort en een gezonder leefklimaat. Bovendien draagt open bodem in de stad bij aan mitigatie door vastlegging van koolstof in bijvoorbeeld de vegetatie van nieuwe groengebieden. Ten aanzien van mitigatie in het landelijk gebied concludeert de TCB dat het bodem- en watersysteem potentieel een substantiële bijdrage kan leveren aan het behalen van de doelstellingen voor emissiereductie. De te realiseren bijdrage hangt onder andere af van keuzes in landgebruik en bodembeheer.

Bij het te ontwikkelen beleidskader moet bedacht worden dat er reeds een groot aantal voorbeelden is van lokale projecten waarin ecosysteemdiensten van het bodem- en watersysteem worden ingezet om

tot adaptatie aan en mitigatie van klimaatverandering te komen. Deze initiatieven komen vaak voort uit wat met de 'energieke samenleving' wordt omschreven. Er zijn ook verschillende instrumenten ontwikkeld om tot duurzame gebiedsontwikkeling te komen, waarvan een aantal in opdracht van het Rijk. De TCB beveelt aan klimaatmaatregelen via het bodem- en watersysteem daar meer nadrukkelijk aan te verbinden. De rijksoverheid neemt over het algemeen een faciliterende rol in. Indien het Rijk ervoor kiest om het bodem- en watersysteem sterker in te zetten voor het behalen van nationale beleidsopgaven op het gebied van klimaat, dan is ook op nationaal niveau regie nodig. Dit kan in de vorm van het stellen van kaders. De TCB beveelt daarbij aan ieder ruimtelijk ontwikkelingsplan of (her)inrichtingsplan een klimaatdoelstelling mee te geven, afhankelijk van het type gebied en de omvang.
Zoals eerder aangegeven is de keuze van de maatregel vanuit het oogpunt van profijt sterk afhankelijk van de lokale en regionale omstandigheden.

Vraag 4.
In hoeverre is het (directe?) klimaatsnut van het bodem- en watersysteem af te wegen tegen andere / meer langetermijnnutsfuncties van het bodem- en watersysteem?

Het vol inzetten op adaptatie aan en mitigatie van klimaatverandering via het bodem- en watersysteem heeft aanzienlijke ruimtelijke consequenties in zowel stedelijk als landelijk gebied. Daarbij moet gedacht worden aan noodzakelijke ruimtelijke reserveringen en veranderingen in landgebruik. Het ruimtebeslag van de inzet van het bodem- en watersysteem voor klimaatdoeleinden is aanzienlijk, maar de meeste maatregelen kunnen onderdeel zijn van meervoudig ruimtegebruik, met andere woorden de ruimte hoeft niet exclusief te worden ingezet voor klimaatdoeleinden. Vaak zijn er ook alternatieve civieltechnische mogelijkheden. De commissie beveelt aan de effectiviteit van alle van toepassing zijnde maatregelen in maatschappelijke kosten-batenanalyses te onderzoeken. Omdat vooral bodem en ondergrond traag reagerende compartimenten zijn, die lastig en alleen tegen hoge kosten te herstellen zijn, zou de voorkeur bij langetermijnnutsfuncties moeten liggen. De TCB beveelt aan hierbij tijdschalen voor het effect van maatregelen te hanteren zoals die in dit advies naar voren zijn gebracht. Een aantal maatregelen kan afhankelijk van de uitvoering ongewenste neveneffecten op het milieu hebben. De TCB beveelt aan hierbij het instrument van levencyclus-analyse in te zetten.

Vraag 5.
Welke kansrijke initiatieven of strategieën zijn volgens de TCB denkbaar teneinde de relatie tussen de diensten van het bodem- en watersysteem voor (klimaatadaptieve en mitigerende) verstedelijking in de Nederlandse delta enerzijds en de voorwaarden voor het leveren daarvan anderzijds te verbeteren? Hoe kunnen bestaande initiatieven hierin voorzien? Wat zijn de kennisleemten?

De TCB concludeert dat er veel voorbeelden en instrumenten beschikbaar zijn om het bodem- en watersysteem in te zetten bij adaptieve en mitigerende maatregelen. Om hier efficiënt gebruik van te maken dient er een duidelijk doel geformuleerd te zijn voor de maatregelen. De strategie zou kunnen zijn om dit doel te vertalen naar opgaven voor adaptatie aan en mitigatie van klimaatverandering voor gebiedsontwikkeling en ervoor te zorgen dat deze vroegtijdig in een project worden ingebracht. Vanwege de eigenschappen van het bodem- en watersysteem dienen daarbij maatregelen via dit systeem die op de lange termijn effectief zijn voorrang te krijgen. Kennisoverdracht met als doel om van elkaar te leren, is en blijft een belangrijk punt.

Als belangrijkste kennisleemten heeft de TCB de kosten en baten van de verschillende maatregelen geïdentificeerd. Kennis over de fysieke en kwaliteitsverhogende effecten (baten) van de maatregelen is vaak versnipperd en uitgedrukt in lastig vergelijkbare eenheden. De corresponderende financiële kosten en baten, ondermeer de financiële vertaling op bedrijfsniveau, zijn zeer beperkt in literatuur te vinden. Ook ontbreekt het aan kennis over de totale milieubelasting die een maatregel, zoals bijvoorbeeld een verandering in landgebruik, genereert. Dit vergt brede analyses van de consequenties van de maatregel, waarbij gebruik gemaakt kan worden van de methodiek van levenscyclusanalyse[51].

Bijlage 3.

OVERZICHT VAN MAATREGELEN

Tabel 3. Adaptatie
Tabel 4. Mitigatie

Tabel 3. Adaptatie

Adaptatie	**Maatregel**	**Tijdschaal** **Langzaam: effect in > 20 jr.** **Matig snel: effect in 1 – 20 jr.** **Snel: effect in < 1 jr.**	**Effectiviteit maatregel**	**Geschikt gebied**	**Opmerkingen** **[Zie ook bijlage 2]**
Groen en water in de stad	Open bodem en vergroening in de stad	Snel/matig snel	Effectief. Zie TCB adviezen. Afhankelijk van beschikbaar oppervlak.	Verstedelijkt gebied	Stimuleren van groene daken Bomen in de stad Aanleg groene longen nabij steden Indicatie voor minimaal percentage open bodem en groen in stad
Bodem en waterbeheer	Verbeteren bodemkwaliteit	Langzaam/ matig snel	Relaties zijn bekend. Praktijkslag naar waterbeheer vergt meer kwantificering.	Basismaatregel. Zowel in landelijk als stedelijk gebied	Maatregelen zijn in verschillende studies op een rij gezet.
	Benutten/ vergroten waterbergend vermogen door opbouw organische stof	Langzaam/ matig snel	Niet kerende grondbewerking effectief voor buffering: zowel waterberging als doorlatendheid..	Arme minerale gronden, hoge zandgronden	Maatregel als onderdeel van meerdere maatregelen om water beter te bufferen.
	Aanpassen ontwateringstoestand (peilbeheer)	Snel (na realisatie)	Veel experimenten met verschillende vormen van peilbeheer. Groot potentieel voor water vasthouden, bergen en afvoeren.	Bijvoorbeeld veenweidegebied, zandgronden Landelijk en stedelijk gebied	Varianten van peilbeheer verschillen voor bijvoorbeeld de veengebieden en de zandgronden. Maatwerk in peilbeheer in stedelijk gebied kan bijvoorbeeld de risico's van paalrot verminderen.
	Benutten/ vergroten doorlatend vermogen	Zie waterbergend vermogen Zie groen en water in de stad	Zie waterbergend vermogen. Zie groen en water in de stad.	Zie bij waterbergend vermogen. Stedelijk gebied: afkoppeling, infiltratie van regenwater in de bodem	Zie bij waterbergend vermogen. De sleutel is verbeteren van de bodemkwaliteit (structuur, organische stof). In stedelijk gebied het belang van open bodem en vergroening.
	Diepinfiltratie	Snel (na realisatie)	Kan lokaal problemen met wateroverlast voorkomen.	Vooral binnenstedelijk gebied	Maatregel als de mogelijkheden voor vasthouden en bergen van water maximaal zijn benut.
	Ondergrondse waterberging	Snel (na realisatie)	Hangt af van technische mogelijkheden om de effecten van verzilting van het geïnfiltreerde zoete water tegen te gaan	Toepassing in bijvoorbeeld glastuinbouwgebieden	Onderzoeksproject Kennis voor Klimaat.
Ruimtelijke inrichting	Natuurlijke klimaatbuffers, groen-blauwe inrichting, aanleg moerassen, glooiende oevers Aanleg moerassen, glooiende oevers Vooral: vasthouden en bufferen van water, waterveiligheid	Matig snel Snel (na realisatie)	Gebruik maken van natuurlijke processen voorkomt de noodzaak van kunstmatige ingrepen .	Landelijk en stedelijk gebied	Hanteer lagenbenadering is uitgangspunt.
	Keuzes in landgebruik	Matig snel	Hangt af van de verschuivingen in landgebruik.	Landelijk gebied	Grasland, typen bos, teelten in de akker- en tuinbouw hebben een verschillende invloed op de waterhuishouding en de bodemontwikkeling.
Gewas en vegetatie	Nieuwe gewassen als aanpassing, Bv. verzilting, hogere temperatuur	Matig snel, langzaam	Nog moeilijk in te schatten (verkennende fase)	Kustgebieden (verzilting) Landelijk gebied en stedelijk (stadslandbouw)	Bijvoorbeeld kansen voor druiventeelt. Meer zonnebloemen. Zilte gewassen als zeekraal, lamsoor, zilte asperge, selderij en venkel.
	Gewassen en vegetatie tegen verdroging	Snel/matig snel	Vervangen donker naaldhout is effectief om verdroging heide en vennen tegen te gaan Teelt van riet in veenweidegebieden zou rendabel kunnen zijn.	Bijvoorbeeld: bosgebied bij heide en vennen, veenweidegebied	-
	Adaptieve maatregelen voor behoud bestaande gewassen	Verschilt per maatregel	Verschilt per maatregel	Inventarisatie is uitgevoerd voor landbouw in Noord-Nederland	Onderscheid in maatregelen voor de boer op perceelsniveau, maatregelen voor de sector en maatregelen op regionaal niveau. Overlapt met eerdergenoemde maatregelen onder 'bodem en waterbeheer'.
	Aanpassen van gewassen, rassen en teeltwijzen	Matig snel	Onderzoeksstadium, experimenten, eerste praktijkervaringen	Landbouwgebieden algemeen. Kustgebieden: verzilting, zilte teelten	-
Maatregelen tegen toename infectiedruk	Maatregelen in de inrichting van gebieden om infectiedruk te verminderen	Matig snel	Bewezen effectieve maatregelen, vooral inrichting. Betekenis bodem en bodembeheer verdient nog verder onderzoek	Speciale aandacht voor droog-natovergangen (moerassen, oevers, inundatiegebieden)	Zie eerder TCB-rapport.
Tegengaan watererosie	Bodembedekking, gewaskeuze, grondbewerking	Matig snel	Watererosie is met deze maatregelen significant terug te brengen	Vooral de Lössgebieden van Zuid-Limburg en de Veenkoloniën	-
Tegengaan winderosie	Gebruik windsingels, bomen Beheer akkerranden Aanpassen teelt en bodembeheer Toepassen papiercellulose	Matig snel	Met name windsingels vormen een structurele en effectieve maatregel.	Geaccidenteerde zandgronden in winderige open regio's zoals de Veenkoloniën	Windsingels (heggen, houtwallen, bomen) kunnen zo worden aangelegd dat het karakter van het landschap behouden kan blijven.

Tabel 4. Mitigatie

Categorie	Maatregel	Tijdelijkheid	Snelheid effect (na inzetten maatregel) Langzaam: effect in > 20 jr. Matig snel: effect in 1 – 20 jr. Snel: effect in < 1 jr.	Klasse van potentiële bijdrage aan emissiereductie in Mton CO2-equiv. per jaar [tussen haakjes percentage van emissiereductiedoelstelling 2020] A: < 0,4 [<1%] B: 0,4 – 4 [1-10%] C: > 4 [> 10%]	Gebiedstype/landschap	Opmerkingen (zie ook bijlage 2)
Duurzame energie	Reststromen en energieteelt	Hernieuwbare energiebron	Matig snel	A-C	Divers gras- en akkerbouwland	Bodemkwaliteit garanderen. Internationaal geaccepteerde duurzaamheidscriteria nodig.
	Warmtekoudeopslag	Hernieuwbare energiebron	Snel	B	Stedelijk gebied	Planning ondergrond Zorg voor lokaal behoud van 'koude' Zorg voor renderend gebruik van de bodem Voorkeur voor open installaties, streef bij gesloten installaties naar weinig grote i.p.v. veel kleine installaties.
	Geothermie	Hernieuwbare energiebron	Snel	B-C	O.a. Zeeland, Gelderland, N-Friesland/Groningen, Noord-Limburg, gebied in Drenthe	Zie potentiekaart aardwarmtewinning Nederland van TNO
Bodemgebruik en -beheer	Verminderen veenoxidatie door hogere peilen, onderwaterdrains, inlaat gebiedseigen water	Bron emissie van koolstof wordt blijvend weggenomen of verminderd, De bron kan voortbestaan zolang er veengrond beschikbaar is	Snel	B	Veengebieden	Ervaringen uit diverse projecten: - Ruimtelijke inrichting moerassen en slootoevers - Project "Waarheen met het veen" en daarin ontwikkeld Decision Support System DSS - Pilots met onderwaterdrains
	Veenopbouw, laagveen	Kan continu doorgaan	Matig snel	?	Laagveengebieden	Vernatten met gebiedseigen water
	Veenopbouw, hoogveen	Kan continu doorgaan	Matig snel	A	Hoogveengebieden	-
	Verhogen organisch stof in akkerbouwgrond	Bij overgang naar landbouw zonder ploegen netto koolstofvastlegging; rol andere broeikasgassen dan kooldioxide onzeker. Na 25 tot 50 jaar is nieuw evenwicht bereikt.	Langzaam	B	Akkerbouw op minerale gronden, vergroening in stedelijk gebied	Type gewas, vegetatie van belang Terugvoer organisch materiaal. Akkerbouw: minder intensieve grondbewerking
	Biochar	Potentieel voor langdurige opslag van koolstof is onderwerp van onderzoek	Nog in onderzoek	Nog in onderzoek	Divers	-
	Bosaanleg (en -beheer)	Aanleg nieuwe bossen zorgt de eerste decennia voor netto vastlegging van koolstof. Netto vastlegging koolstof neemt bij ouder wordend bos af en kan na decennia, zeg 50 tot 100 jaar, stoppen.	Matig snel	B	Divers bosgebied	Behoud en beheer huidige bossen Aanleg nieuwe bossen, bijvoorbeeld nabij steden
	Graslandareaal vergroten	Bijvoorbeeld overgang akkerland grasland: akkerland heeft gemiddeld netto emissie van broeikasgassen, grasland gemiddeld netto vastlegging. Effect is blijvend tenzij landgebruik weer wijzigt	Snel	A-C	Akkerbouwgebieden	Keuzes landgebruik worden door veel factoren bepaald , vermindering broeikasgassen wellicht minder zwaarwegend.
	Minder scheuren van grasland	Leidt duurzaam tot minder uitstoot broeikasgassen (met name lachgas)	Snel	B	Divers grasland	De grootste emissies uit de landbouw worden veroorzaakt door bedrijfsvoering:minder mest, kunstmest. Met instrumenten als 'De klimaatmeetlat' kan een melkveehouder zijn emissie van broeikasgassen berekenen.

TCB publicaties gerelateerd aan dit advies:
Advies Beter besluiten met ecosysteemdiensten, A073(2012)
Advies Wijziging Wet bodembescherming als onderdeel van de Omgevingswet, TCB A078(2012)
Advies Randvoorwaarden afdekken bodem in stedelijk gebied, TCB A063(2010)
Advies Gevolgen van afdekken van bodem, TCB A048(2009)

De commissieleden van de TCB:
Mevr. A. Edelenbosch, voorzitter TCB, openbaar bestuur
Dr. A.P. van Wezel, vicevoorzitter TCB, hoofd kennisgroep waterkwaliteit en gezondheid, KWR *Watercycle Research Institute*, Nieuwegein

Prof.dr. M.P.A. Aerts, hoogleraar systeemecologie aan de Vrije Universiteit Amsterdam en directeur van de afdeling Ecologische Wetenschappen van de VU
Prof.dr. J. Griffioen, bijzonder hoogleraar waterkwaliteitsbeheer aan de faculteit Geowetenschappen van de universiteit Utrecht en onderzoeker milieugeochemie bij Deltares, Utrecht
Drs. C. Hegger, arts maatschappij en gezondheid bij GGD Rotterdam-Rijnmond
Dr.ir. J.J. Neeteson, manager business unit Agrosysteemkunde van Plant Research International, Wageningen UR, en waarnemend leerstoelhouder van de leerstoelgroep Biologische Landbouwsystemen van Wageningen UR
Dr.ir. M.P.W. Sonneveld, universitair docent Bodemgeografie en Landschap aan de Wageningen Universiteit
Prof.dr. J.C.H.M. Vangronsveld, hoogleraar biologie en milieukunde aan de universiteit van Hasselt en directeur van het Centrum voor Milieukunde van de Universiteit Hasselt, België
Prof.dr. J.A. van Veen, hoogleraar microbiële ecologie, universiteit van Leiden en hoofd van de afdeling microbiële ecologie, Nederlands Instituut voor Ecologie, Wageningen
Prof.dr. W.P. de Voogt, bijzonder hoogleraar milieuchemie verbonden aan leerstoelgroep *Earth Surface Science (ESS),* Instituut voor Biodiversiteit en Ecosysteem Dynamica, Universiteit van Amsterdam en *principal scientist* bij KWR *Watercycle Research Institute*, Nieuwegein

Drs. K. de Snoo, ministerieel vertegenwoordiger, directeur Duurzaamheid, Ministerie van Infrastructuur en Milieu

Het secretariaat van de TCB:
Dr. J. van Wensem, algemeen secretaris/ directeur
Dr.ir. A.E. Boekhold, adviseur, tevens plaatsvervangend algemeen secretaris
Drs. C.C.M. Gribling, adviseur
Drs. M. ten Hove, adviseur
Drs. J. Tuinstra, adviseur
J. Oudshoorn, ondersteuner

Dit advies is opgesteld door Jaap Tuinstra, Ceciel Gribling en Joke van Wensem