Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu
*Ministerie van Volksgezondheid,
Welzijn en Sport*

Bodem, ecosysteemdiensten en ruimtelijke keuzen

Een eerste inventarisatie

RIVM briefrapport 607050015/2012
A.C.M. de Nijs | M. Mesman

Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu
*Ministerie van Volksgezondheid,
Welzijn en Sport*

Bodem, ecosysteemdiensten en ruimtelijke keuzen

Een eerste inventarisatie

RIVM Briefrapport 607050015/2012
A.C.M. de Nijs | M. Mesman

Colofon

© RIVM 2012
Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: 'Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), de titel van de publicatie en het jaar van uitgave'.

A.C.M. de Nijs, RIVM
M. Mesman, RIVM

Contact:
Ton de Nijs
LER
ton.de.nijs@rivm.nl

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van Ministerie van Infrastructuur en Milieu, DGRW, directie Bodem en Water in het kader van het project Duurzaam Gebruik van de Ondergrond

Rapport in het kort

Bodem, ecosysteemdiensten en ruimtelijke keuzen.
Een eerste inventarisatie.

De bodem en ondergrond in Nederland worden steeds meer gebruikt, bijvoorbeeld om delfstoffen te winnen of om er energie, aardgas en CO_2 in op te slaan. Voor een efficiënt, verantwoord en duurzaam ruimtegebruik is het van belang de activiteiten onder en boven de grond op elkaar af te stemmen en daarbij de eigenschappen van de bodem zo veel mogelijk te benutten. De overheid ontwikkelt momenteel een Structuurvisie voor de Ondergrond (STRONG). Het RIVM heeft kenmerken van de bodem en ondergrond geïnventariseerd die daarbij van belang kunnen zijn. De kenmerken zijn in de vorm van kaartbeelden weergegeven.

De kaartbeelden geven inzicht in kenmerken die relevant zijn voor afwegingen welke activiteiten het beste op welke locaties kunnen worden uitgevoerd. De invloed van de diverse ruimtelijke kenmerken zou daarvoor vertaald moeten worden naar extra maatschappelijke kosten en baten. Op die manier kan bovendien rekening worden gehouden met een opeenstapeling van kenmerken.

Zo is het van belang om locaties waar aardwarmte voorkomt, te benutten voor activiteiten die veel warmte vergen zoals de glastuinbouw. Voor stedelijke uitbreidingen zou meer rekening gehouden moeten worden met de draagkracht van de bodem. In principe zouden goede landbouwgronden behouden moeten blijven voor de landbouw. Gronden die daar minder voor geschikt zijn, zouden gebruikt kunnen worden voor nieuwe ruimtelijke ontwikkeling, hetzij stedelijk, hetzij natuur.

Trefwoorden:
ecosysteemdiensten, duurzaamheid, bodem, ondergrond, ruimtelijke ordening

Abstract

Soil, ecosystem services and spatial choices.
A first inventory.

The soil and subsoil in the Netherlands are increasingly used to win, for example, fossil fuels, thermal energy or to store excess CO_2. For an efficient, responsible and sustainable spatial planning it is important to relate the activities above and below the ground thereby utilising the properties of the soil and substrate as much as possible. Currently, the government is developing a "Structuurvisie voor de Ondergrond", a spatial policy plan for the sustainable use of the soil and subsurface. RIVM has made an inventory of the characteristics of soil and substrate which thereby may be of interest. The characteristics are shown in the form of maps.

The maps provide insight into characteristics that are relevant in the decision about what activities can be performed best at which locations. The influence of the different spatial characteristics should therefore be translated into additional societal costs and benefits. Moreover, in this way an accumulation of various characteristics can be taken into account.

Thus, it is important to use locations with geothermal energy for activities that require much heat such as greenhouses. Decisions on urban developments on peaty soils, with a low bearing capacity, should take the long-term maintenance costs into account. Good agricultural land should, in principle, be preserved for agriculture. Grounds that are less suitable, could be used for new spatial development, whether urban or natural.

Keywords:
ecosystem services, sustainability, soil, subsoil, spatial planning

Inhoud

Samenvatting—6

1 Inleiding—8

2 Bodem, ondergrond en ruimtelijke keuzen.—11
2.1 Delfstoffen—11
2.2 Geolologische eigenschappen—15
2.3 Ecosysteemdiensten—20
2.4 Cultuurhistorische waarden—27
2.5 Ondergronds transport—27

3 Relatie met de ruimtelijke ontwikkelingen—29

4 Conclusies en aanbevelingen—31

5 Referenties—32

Samenvatting

Bodem en ondergrond worden steeds meer gebruikt. In de diepe ondergrond gaat het om de winning van delfstoffen (olie, gas, zout, warmte) en de opslag van (nucleair)afval, energie, aardgas en CO_2. In de ondiepe ondergrond gaat het om de winning van zand en grind, drinkwatervoorziening, kabels en leidingen, warmte-koudeopslag, bodem- en grondwatersanering, ondergronds bouwen en de bescherming van archeologische en aardkundige waarden (VROM, 2010).
Om tot een efficiënt ruimtegebruik te komen dienen de verschillende activiteiten in de onder- en bovengrond op elkaar afgestemd worden. In de Structuurvisie Infra en Ruimte (I&M, 2012) kondigt het rijk aan met een Structuurvisie voor de Ondergrond (STRONG) te komen. Deze visie moet richting geven aan een duurzaam en verantwoord gebruik van de ondergrond.

De kenmerken van bodem en ondergrond variëren in de ruimte. Voor de ontwikkeling van bepaalde activiteiten zijn deze kenmerken van belang. Aan de hand van kaartbeelden geeft dit rapport een eerste inventarisatie van beschikbare geografische informatie die voor de keuze van ruimtelijke ontwikkelingen op nationaal, provinciaal of lokaal niveau van belang kunnen zijn. Naast eigenschappen van bodem en ondergrond tracht dit rapport ook de ruimtelijke verdeling van een aantal ecosysteem diensten in beeld te brengen. Volgens de Technische Commissie Bodembescherming (TCB) zou het gebruik en beheer van de bodem meer beoordeeld moeten worden vanuit het duurzaam gebruik van ecosystemen en de diensten die zij leveren. Er is relatief nog weinig bekend over het functioneren van verschillende ecosysteemdiensten in relatie tot ruimtelijke keuzen.

Verschillende kenmerken van bodem en ondergrond zijn van belang voor een duurzame ruimtelijke ontwikkeling. De invloed van deze kenmerken is sterk afhankelijk van het type ruimtelijke ontwikkeling. Samenvattend kunnen de volgende conclusies getrokken worden:
- de aanwezigheid van aardwarmte is van belang voor functies die veel warmte vragen zoals glastuinbouw, wonen maar ook bedrijven- en kantoorterreinen;
- de draagkracht van de bodem is van belang voor alle urbane functies. Naast de bouwkosten zouden ook de onderhoudskosten expliciet meegewogen moeten worden in de beoordeling van nieuwe urbane ontwikkelingen;
- in sommige gebieden is de dynamiek van de bodem lokaal zo sterk dat het raadzaam is om de risico's van bodemdaling/stijging voor de bestaande bebouwing en eventuele nieuwe ontwikkelingen in beeld te brengen;
- door de winning van zand, grind of klei kunnen de netto ontwikkelingskosten van een project - natuur, woonwijk, waterberging- lager uitvallen;
- om in bepaalde gebieden het grondwater veilig te stellen voor toekomstig gebruik als drinkwater wordt het aanbevolen om activiteiten die dit toekomstige gebruik in gevaar brengen te beperken;
- voor een duurzame landbouw is het van belang rekening te houden met de natuurlijke eigenschappen van bodem en ondergrond zoals opbrengstderving, de natuurlijke afbraak capaciteit, de bodembiodiversiteit en - de ontwikkeling van - het organische stof en het zoutgehalte;
- bodem en ondergrond zijn niet overal in dezelfde mate geschikt voor de productie van gewassen in de landbouw. In de locatiekeuze voor nieuwe stedelijke uitbreidingen en natuurgebieden zou vanuit het oogpunt van duurzaamheid meer rekening mee gehouden kunnen worden met de geschiktheid van de bodem voor de landbouw. Goede landbouwgronden

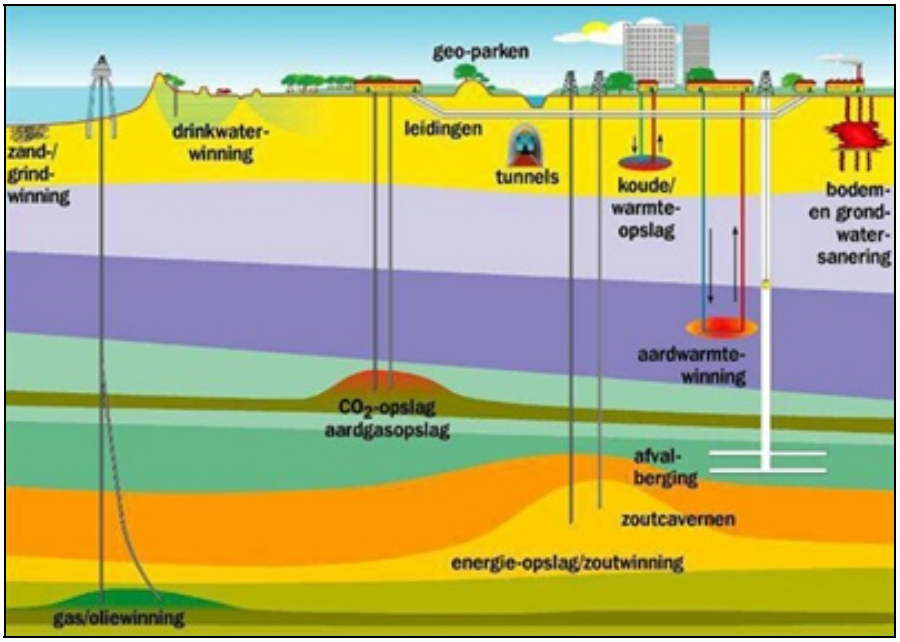
zouden behouden moet blijven voor de landbouw, voor de stedelijke uitbreidingen of natuurontwikkeling zouden preferent de slechtere landbouw gebruikt kunnen worden.

Om een goede afweging te kunnen maken zou de invloed van de verschillende ruimtelijke kenmerken vertaald moeten in de additionele maatschappelijke kosten en baten voor de verschillende ruimtelijke functies ten opzichte van een standaard situatie. Op die manier kan ook rekening gehouden met stapeling van verschillende kenmerken.

Om de ruimtelijke keuzen in relatie tot bodem en ondergrond goed te kunnen maken zou de beschikbare geografische informatie centraal via een website aan alle betrokkenen, overheden, burgers en bedrijven, samen met de instrumenten om die afweging te ondersteunen, beschikbaar gesteld moeten worden.

1 Inleiding

De ondergrond wordt steeds meer gebruikt (Figuur 1). In de diepe ondergrond gaat het naast het winnen van olie en (schalie)gas om zoutwinning, geothermie en de opslag van (nucleair)afval, energie, aardgas en CO_2. In de ondiepe ondergrond gaat het om de winning van oppervlaktedelfstoffen zoals zand, grind en klei, drinkwatervoorziening, kabels en leidingen, tunnels, parkeergarages, winkelcentra, warmtekoudeopslag, het beheersen en saneren van bodem en grondwaterverontreinigingen en het beschermen van archeologische en aardkundige waarden (VROM, 2010).



Figuur 1. Visualisatie van het gebruik van de ondergrond (Bron: TNO).

Al deze activiteiten in de ondergrond brengen kansen en beperkingen met zich mee. Zo kan warmte koude opslag (WKO) gebruikt worden om de bodem te saneren. Om tot een efficiënt ruimtegebruik te komen moeten de verschillende activiteiten in de onder- en bovengrond op elkaar afgestemd worden. In de Structuurvisie Infra en Ruimte (SVIR) geeft het rijk aan dat efficiënt gebruik van de ondergrond een zaak van nationaal belang is (I&M, 2012) en kondigt aan met een Structuurvisie voor de Ondergrond (STRONG) te komen (www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/bodem-en-ondergrond). Deze visie moet richting geven aan een duurzaam en verantwoord gebruik van de ondergrond en zal daarnaast inzicht bieden ten aanzien van regelgeving voor het beleid voor de ondergrond waar de andere overheden verantwoordelijk voor zijn.
Het rijk wil het duurzaam gebruik van de ondergrond bevorderen. Los van de nationale belangen zijn de gemeenten, provincies en waterschappen verantwoordelijk voor het gebruik van de ondergrond. Bij de afweging van een ondergronds bouwplan komen veel aspecten aan bod. Wat vindt er bovengronds plaats? Hoe worden deze activiteiten door het plan beïnvloed, welke aspecten in de onder- en bovengrond beschermd moeten worden? Tabel 1 geeft een overzicht van de belangrijkste rapportages, handreikingen en instrumenten om de (ondergrondse) ontwikkelingen te beoordelen.

Tabel 1. Overzicht van de belangrijkste rapportages, handreikingen en instrumenten om de (ondergrondse) ontwikkelingen te beoordelen.

Titel	Referentie / Website
Baten van de ondergrond	TNO (2009)
Benutten van de baten van de ondergrond	TNO (2009)
De redeneerlijn voor de ondergrond	Tauw (2009)
Aanvulling redeneerlijn voor de ondergrond	Bakker (2011)
Gebruik van de ondergrond, ingrediënten voor een afweging	Royal Haskoning (2009)
Handreiking Gebiedsgericht grondwaterbeheer	van der Gun (2010)
Ordening van de Ondergrond	KWR & UU (2010)
Rijksvisie op het duurzaam gebruik van de ondergrond	VROM (2010)
Duurzame gebiedsontwikkeling: Doe de tienkamp	H2Ruimte (2011)
Advies Elementen voor duurzaam gebruik van de ondergrond	TCB (2011)
Duurzaam gebruik van de ondergrond	TCB (2012)
Ruimtexmilieu	www.ruimtexmilieu.nl
Bodemwijzer Brabant	bodemwijzer.brabant.nl
Bodemambities	www.bodemambities.nl
Bodemloket	www.bodemloket.nl
WKOtool	www.wkotool.nl
Handreiking Duurzame Ruimtelijke Ontwikkeling	www.handreikingdro.nl
Handreiking plannen met de ondergrond	www.ruimtexmilieu.nl
BodemVizier: Vizier op kennis, praktijkvoorbeelden en instrumenten voor bodem en ondergrond	vizier.bodemrichtlijn.nl

De kenmerken van bodem en ondergrond zoals de opbouw en samenstelling variëren in de ruimte. Voor de ontwikkeling van bepaalde activiteiten zijn deze kenmerken van belang. Er zijn extra kosten verbonden aan de ontwikkeling van woonlocaties in gebieden die gevoelig zijn voor zetting van de ondergrond. Het kan voordelig zijn om kassen te ontwikkelen op locaties waar het gebruik van aardwarmte economisch rendabel is.
Naast bepaalde kenmerken van bodem en ondergrond tracht dit rapport ook de ruimtelijke verdeling van een aantal ecosysteem diensten in beeld te brengen (zie tekstbox 1). Volgens de Technische Commissie Bodembescherming (TCB) zouden deze diensten meer bij de beoordeling van het duurzaam gebruik van bodem en ondergrond betrokken moeten worden (TCB, 2012a, 2012b). Het gaat daarbij om de ecosysteemdiensten zoals de productie van gewassen, waterregulatie, drinkwatervoorraad en het filtreren, vastleggen en afbreken van stoffen.

Tekstbox 1. De waarde van Ecosysteemdiensten

De waarde van ecosysteemdiensten voor de mens is wereldwijd door de Verenigde Naties onder de aandacht gebracht met de publicatie van de Millennium Ecosystem Assessment (MA, 2005) en de publicatie van "The Economics of Ecosystem Services and Biodiversity (TEEB, 2010). In Nederland is TEEB-NL gestart, een project waarbij de economische waarde van ecosysteemdiensten voor verschillende maatschappelijke "stakeholders" verder worden uitgewerkt (KPMG, 2012a, 2012b).
TEEB-Fysiek, een deelstudie van TEEB-NL, wil specifiek meer inzicht krijgen in de regionale, ruimtelijke verdeling van ecosysteemdiensten in Nederland (Alterra, 2012). Binnen dit project is een voorstudie afgerond naar methodologische aspecten om ecosysteemdiensten te waarderen.

Het doel van deze studie is tweeledig:

1. de inventarisatie van beschikbare geo-informatie over bodem en ondergrond die voor de keuze van bepaalde ruimtelijke ontwikkelingen, zoals woningbouwlocaties, bedrijfsterreinen en glastuinbouw, op nationaal, provinciaal of lokaal niveau van belang zijn.
2. het aanreiken van een handelingsperspectief: Hoe kan deze informatie gebruikt worden om keuzes te maken over waar welke ruimtelijke ontwikkelingen "het best" gepland kunnen worden.

Leeswijzer.
Het volgende hoofdstuk geeft een aantal kaartbeelden met kenmerken van bodem en ondergrond die voor de keuze van bepaalde ruimtelijke ontwikkelingen van belang kunnen zijn. Naast de beschrijving van de kaart wordt daarbij aangegeven voor welke ruimtelijke functies en op welk schaalniveau de betreffende informatie mogelijkerwijs relevant is. Hoofdstuk 3 laat zien hoe deze informatie gebruikt kan worden om keuze te maken over de ontwikkeling van verschillende ruimtelijke functies zoals wonen, werken en landbouw. In hoofdstuk 4 worden de belangrijkste conclusies en aanbevelingen beschreven.

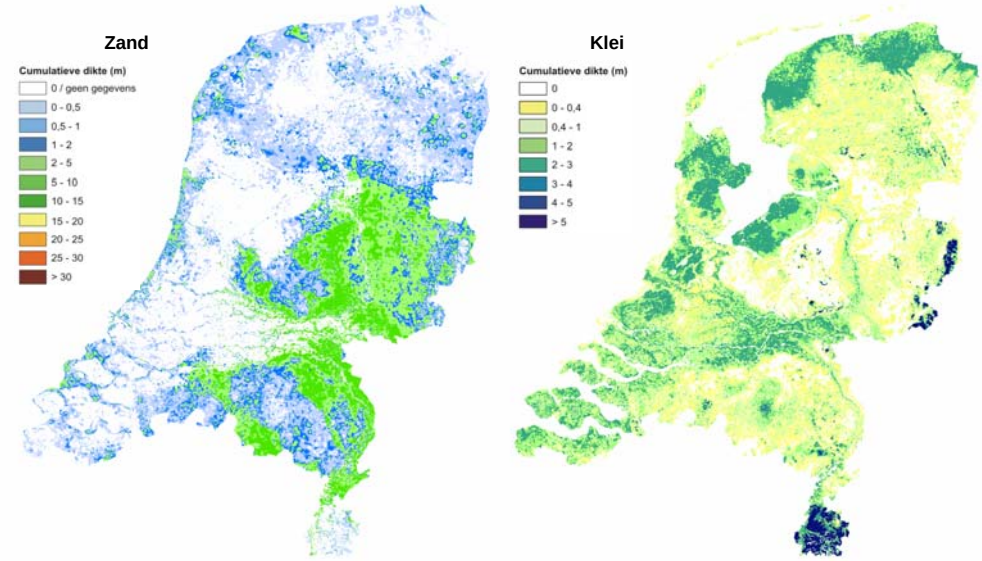
2 Bodem, ondergrond en ruimtelijke keuzen.

2.1 Delfstoffen

De ondergrond in Nederland bevat verschillende delfstoffen die van nut zijn voor de mens zoals olie en gas maar ook zand, grind en water. Het voorkomen van delfstoffen kan van invloed zijn op de maatschappelijke kosten en baten van een project. LNV (2006) beschrijft de baten van de winning van verschillende delfstoffen zoals olie en gas maar ook zout, zand, grind en klei. De winning van oppervlaktedelfstoffen is direct gekoppeld aan de locatie waar ze voorkomen. Vanuit het rijksbeleid (I&M, 2012) wordt de winning van oppervlaktedelfstoffen gekoppeld aan de ontwikkeling van andere functies zoals recreatie, water, woningbouw en natuur.
Onderstaande paragrafen brengt de ligging van de economisch winbare voorraden aan zand, grind, klei, water en aardwarmte in beeld.

2.1.1 Zand, grind en klei.

De website Delfstoffenonline (www.delfstoffenonline.nl) van TNO geeft het voorkomen van de geologisch winbare hoeveelheden van verschillende oppervlakte delfstoffen in de Nederlandse ondergrond. Figuur 2 laat de verdeling zien van de geologische winbare hoeveelheid zand en klei.



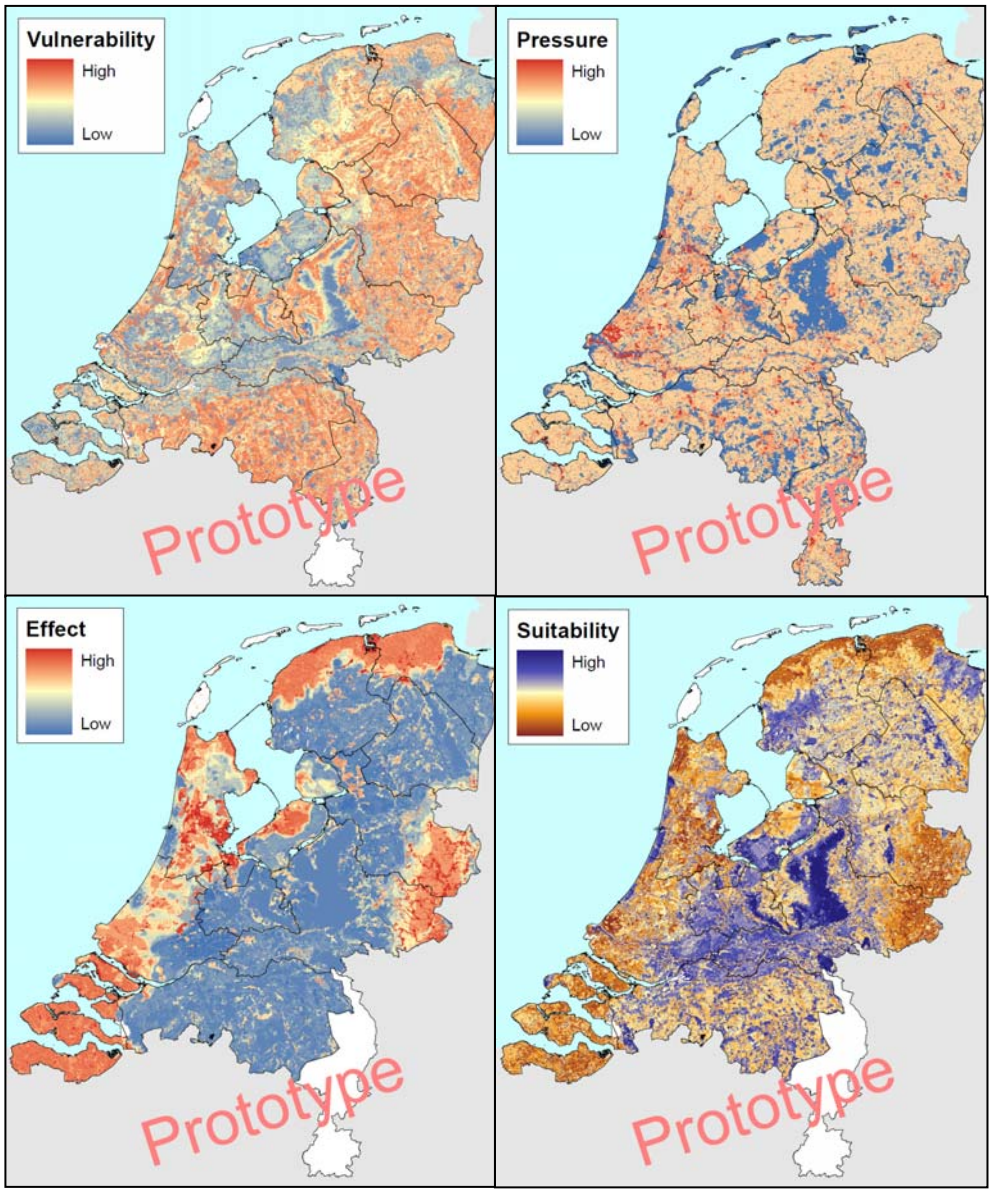
Figuur 2. Cumulatieve dikte van de geologisch winbare hoeveelheid grof industriezand tot 10 meter diepte bij een maximale deklaag van 2 m (links) en de geologisch winbare hoeveelheid klei (rechts).

Toepassing
Het voorkomen van zand, grind en klei kan lokaal van invloed zijn op de ontwikkeling van locaties waarbij door de winning deze delfstoffen de netto ontwikkelingskosten van het project lager uitvallen.
Zand- en grindwinning bieden goede mogelijkheden voor de ontwikkeling van natuur en verruiming van rivieren en waterberging. Voorbeelden zijn projecten zoals de Grensmaas, Asseltse plassen in Limburg en zoals de Marspolder en de Loowaard in Gelderland. Zand- en grindwinning kan ook samengaan met de

ontwikkeling van woonwijken en waterbergingsgebieden. Ophoogzand wordt vaak gebruikt worden voor het bouwrijp maken van de woonwijk. Voorbeelden zijn de Heeswijkse Kampen in Brabant, Eeserwold in Overijssel en Lentse Plassen in Gelderland (zie www.cascade-zandgrind.nl/gebiedsontwikkeling).

2.1.2 Grondwater voor drinkwater

Grondwater is van nut voor de bereiding drinkwater, proceswater en irrigatiewater en verschillende andere doeleinden (LNV, 2006). Vanuit strategisch oogpunt kan het van belang zijn om het grondwater in sommige gebieden veilig stellen voor toekomstig gebruik als drinkwater.



Figuur 3. De relatieve geschiktheid van de ondergrond (Suitability) voor winning van grondwater bepaald aan de hand van de kwetsbaarheid van het grondwater in het 1e watervoerend pakket (Vulnerability), de druk op het grondwater vanuit antropogene activiteiten (Pressure) en de effecten van winning van grondwater (Effect)

Niet alle grondwater is geschikt voor de bereiding van drinkwater. In sommige gebieden is het grondwater zout, in andere gebieden is de kans groot dat het vervuild wordt door verschillende antropogene invloeden: nitraat en bestrijdingsmiddelen door agrarisch gebruik, historische bodemverontreinigingslocaties, stortplaatsen etc.
Figuur 3 geeft een indicatief beeld van de geschiktheid (Suitability) van de ondergrond voor winning van grondwater uit het 1e watervoerend pakket waarbij rekening is gehouden met:

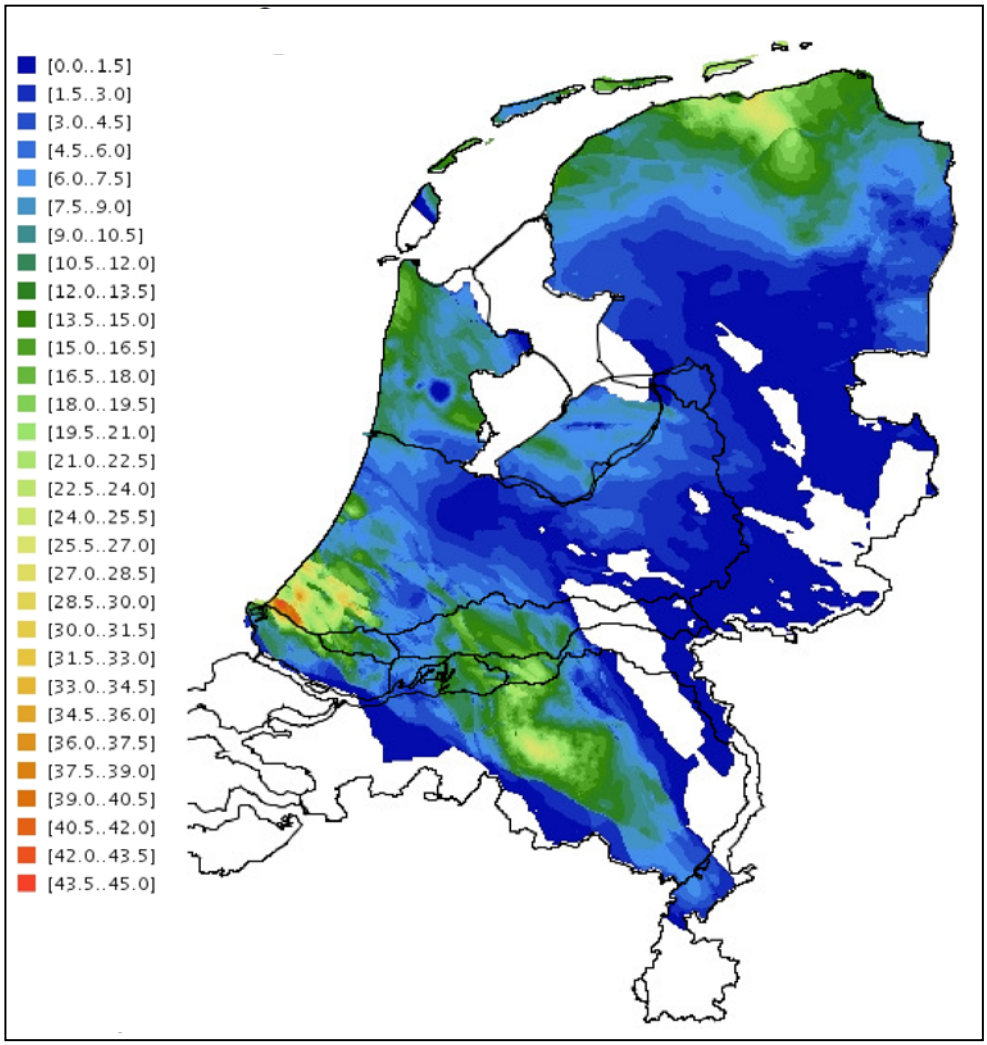
1. de kwetsbaarheid van het grondwater (Vulnerability). De Vulnerability wordt vooral bepaald door het bodemtype en diepte van het grondwater;
2. de milieudruk op het grondwater (Pressure) vanuit antropogene activiteiten zoals de landbouw, industrieterreinen, etc. op basis van het landgebruik en
3. de effecten van de winning van grondwater (Effect) door de potentiële invloed van de grondwaterwinning op natuur, landbouw en intrusie van brak en zout water.

De selectieprocedure is een ruimtelijke multi-criteria analyse gebaseerd op een nadere uitwerking van DRASTIC (Jiménez-Madrid et al., 2012; EPA, 1987). In deze selectieprocedure is geen rekening wordt gehouden met bijvoorbeeld locaties met bodemverontreiniging, historische stortplaatsen alsook de opbouw van de diepere ondergrond en de ligging van de verschillende aquifers.

Toepassing
Om het grondwater voor de toekomst veilig te stellen voor gebruik als drinkwater moet voorkomen worden dat het grondwater wordt beïnvloed door antropogene activiteiten. Voor de huidige openbare drinkwatervoorziening worden momenteel zogenaamde gebiedsdossiers opgesteld waarin de risico's voor de waterkwaliteit rondom een winning worden geïnventariseerd zodat tijdig effectieve beschermingsmaatregelen kunnen worden getroffen. Het gaat daarbij om oude bodemverontreinigingen, infiltratie van nitraat en bestrijdingsmiddelen maar ook de toekomstige risico's door bijvoorbeeld warmte koude opslag te beperken.
Om in bepaalde gebieden het grondwater veilig te stellen voor toekomstig gebruik als drinkwater betekent in de praktijk dat er beperkingen zijn aan de activiteiten die in die gebieden plaats kunnen vinden.

2.1.3 Aardwarmte

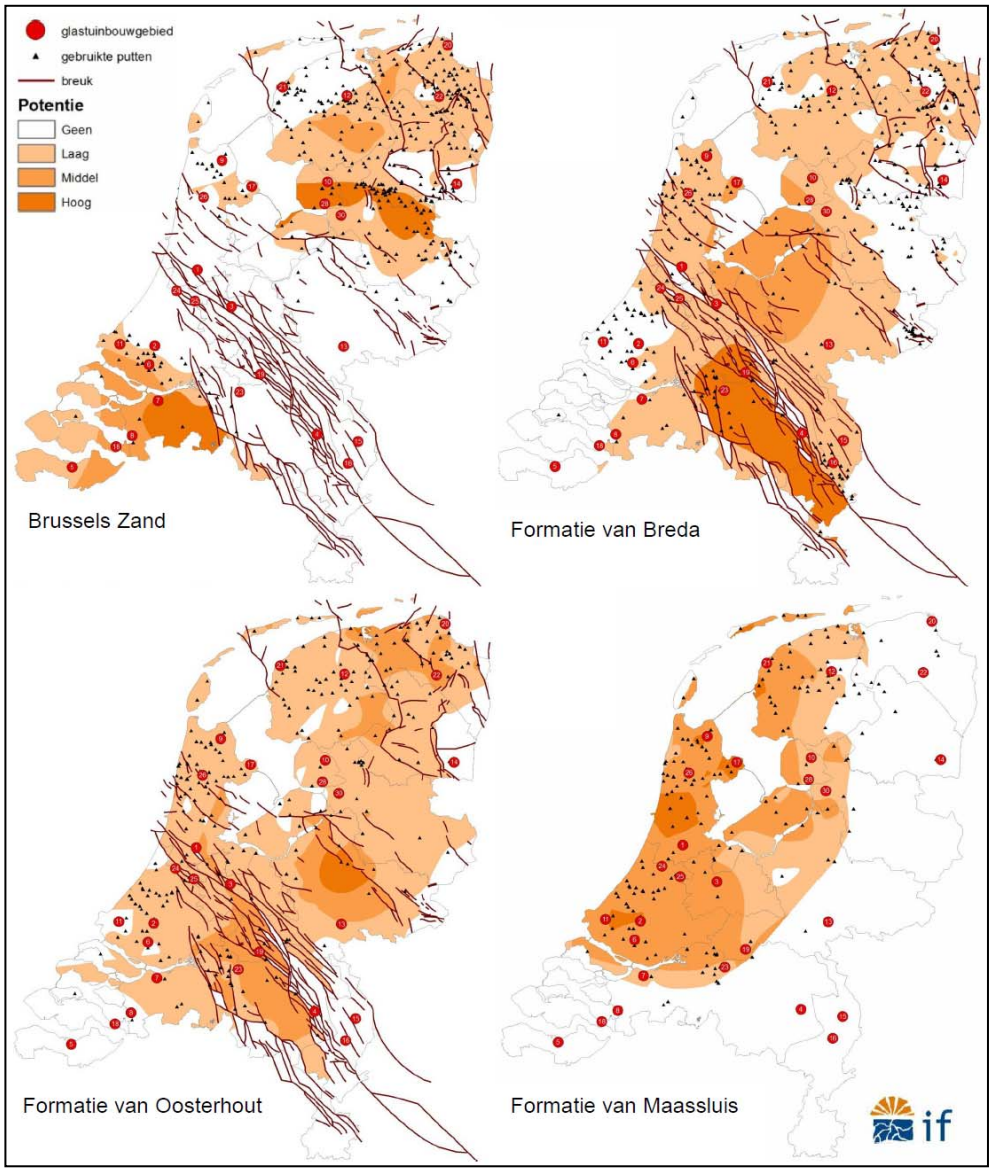
De temperatuur van de ondergrond neemt met de diepte toe. In Nederland stijgt daardoor de temperatuur van het grondwater met circa 30 graden Celsius per km. Dit warme grondwater kan gebruikt worden als een duurzame energiebron. Om deze energie te winnen dient het grondwater meer dan 45 graden warm te zijn en moet de ondergrond voldoende doorlatend zijn. TNO heeft een website ontwikkeld waar men kan zien waar de diepere ondergrond potentieel geschikt is voor de ontwikkeling van geothermie: www.thermogis.nl. Figuur 4 toont de potentieel winbare hoeveelheid energie voor alle geïdentificeerde reservoirs in PJ/km^2.
Naast geothermie in de diepere ondergrond is ondiepe geothermie (OGT) voor kleinere schaalgroottes in Nederland op een groot aantal plaatsen potentieel toepasbaar (Hellebrand et al., 2012). Ondiepe geothermie kan toegepast worden voor de verwarming van kassen of woonwijken. De boorkosten en financiële risico's van ondiepe geothermie zijn lager omdat er minder diep geboord hoeft te worden. Figuur 5 schetst de potentie van ondiepe geothermie in verschillende formaties in de ondergrond. Deze potentie is gebaseerd op de temperatuur in de ondergrond en de dikte en samenstelling van de verschillende formaties.



Figuur 4. Potentieel winbare hoeveelheid energie uit de diepere ondergrond voor alle geïdentificeerde reservoirs in Nederland in PJ/km^2 (bron: www.thermogis.nl)

Toepassing.

Ruimtelijk gezien zou de verdeling van de aardwarmte in de Nederlandse bodem duurzaam benut kunnen worden voor ontwikkelingen die warmte en energie gebruiken zoals de glastuinbouw en de gebouwde omgeving. Bij de locatiekeuze voor dergelijke ontwikkelingen op nationale, regionale en lokale schaal dient rekening gehouden te worden met ruimtelijke variatie in de potentie van de ondergrond voor geothermie. Om de locatiekeuze voor deze ontwikkelingen in relatie tot de potentie voor geothermie beter te faciliteren wordt het aanbevolen om de verschillende kaarten met de potentie van de ondergrond voor aardwarmte voor zover mogelijk te combineren tot één kaart of instrument vergelijkbaar met de WKO-tool.

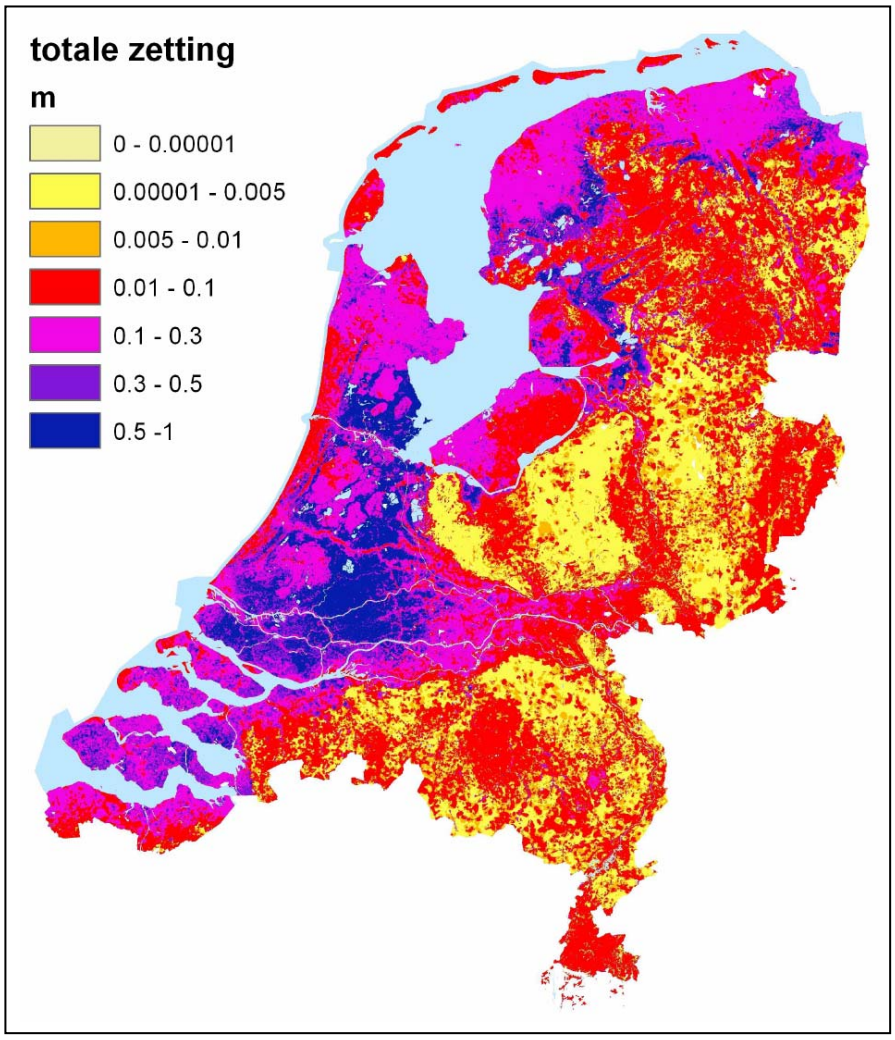


Figuur 5. Potentie van verschillende formaties in de ondergrond voor ondiepe geothermie. (bron: Hellebrand et al., 2012)

2.2 Geologische eigenschappen

2.2.1 Draagkracht van de bodem

De draagkracht van de bodem is afhankelijk van de samenstelling van bodem en ondergrond. Het draagvermogen van zand is daarbij groter dan van klei en veen. Bij klei en veen zal de bodem meer ingedrukt worden, zetten, als er nieuw materiaal wordt opgebracht zoals dat bij de aanleg van wegen, woonwijken of bedrijventerreinen.
Figuur 6 toont de totale zetting van de ondergrond in Nederland na het opbrengen van circa 1 m droog zand volgens de methode Koppejan (pers.comm. Ger de Lange, TNO Bouw en Ondergrond). De zetting is het sterkst in de Holocene afzettingen omdat de bodem daar voor een belangrijk deel uit klei en veen bestaat.



Figuur 6. Totale zetting van de ondergrond in Nederland na het opbrengen van circa 1 m droog zand volgens de methode Koppejan (pers.comm. Ger de Lange, TNO Bouw en Ondergrond).

De ontwikkeling van nieuwe woonwijken, bedrijfsterreinen en infrastructurele projecten in zettingsgevoelige gebieden gaat gepaard met aanzienlijke extra aanleg- en onderhoudskosten, respectievelijk 450 miljoen en 1,2 miljard euro per jaar (Mulder et al., 2003). Door verschillen in de zetting van de ondergrond zijn de onderhoudskosten aan rioleringen, kunstwerken en wegen voor gemeenten groot. Daarnaast lopen de netbeheerders schade op aan kabels en leidingen en moeten burgers regelmatig hun tuin ophogen.

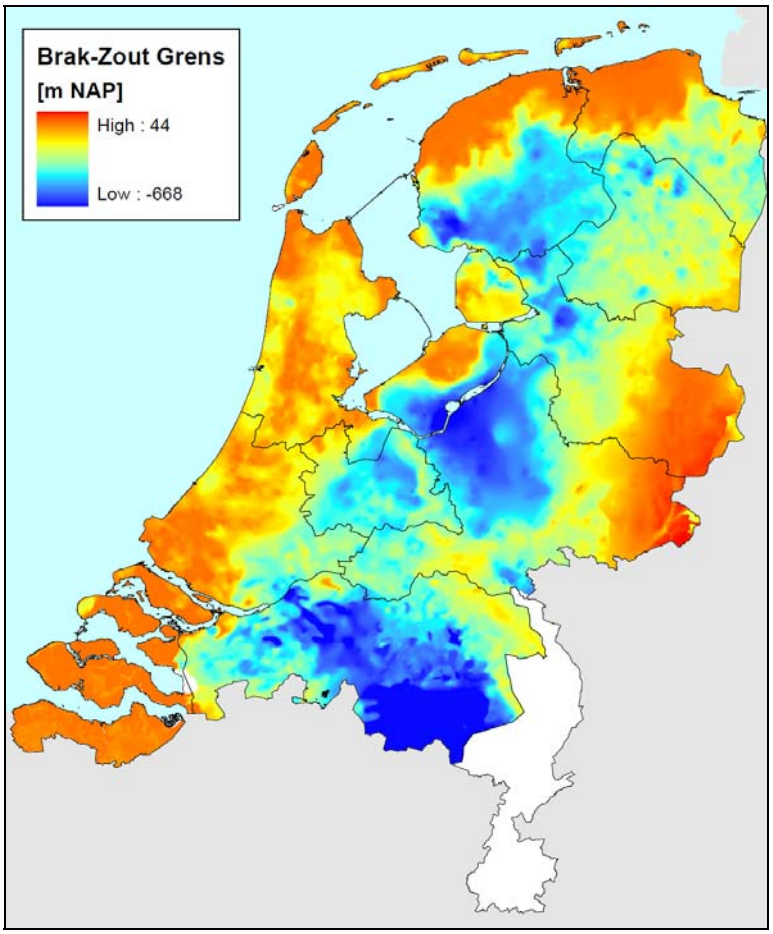
Toepassing.
Bij de ontwikkeling van nieuwe projecten kan bewuster rekening gehouden te worden met de eigenschappen van de bodem door:

1. gebieden te kiezen die minder zettingsgevoelig zijn;
2. lokale variaties in zettingsgevoeligheid te benutten bij de inrichting van de ruimte: de zwaarste gebouwen op de sterkste ondergrond;
3. andere funderingstechnieken toe te passen en
4. de onderhoudskosten expliciet mee te nemen in de beoordeling van nieuwe ruimtelijke ontwikkelingen

Om de keuze van bouwlocaties op basis van de zettingsgevoeligheid van de ondergrond te vereenvoudigen wordt het aanbevolen om de zettingsgevoeligheid van de ondergrond verder uit te werken naar de extra aanleg en onderhoudskosten voor verschillende ruimtegebruiksfuncties zoals woonwijken, bedrijfsterreinen, kantoorterreinen, wegen etc.

2.2.2 *Zoet-Zout grens in het grondwater.*

Het grondwater in Nederland is deels zoet en deels zout. Het bovenste grondwater is bijna overal zoet. Met de diepte neemt de kans dat het grondwater brak of zout is toe. Figuur 7 geeft de diepte weer waar het grondwater brak-zout is. In de kustgebieden zit dit grensvlak ondiep door de invloed van de zee. Door het voorkomen van zoutlagen en zoutpilaren ligt het grensvlak in het oosten van het land niet ver beneden het maaiveld.

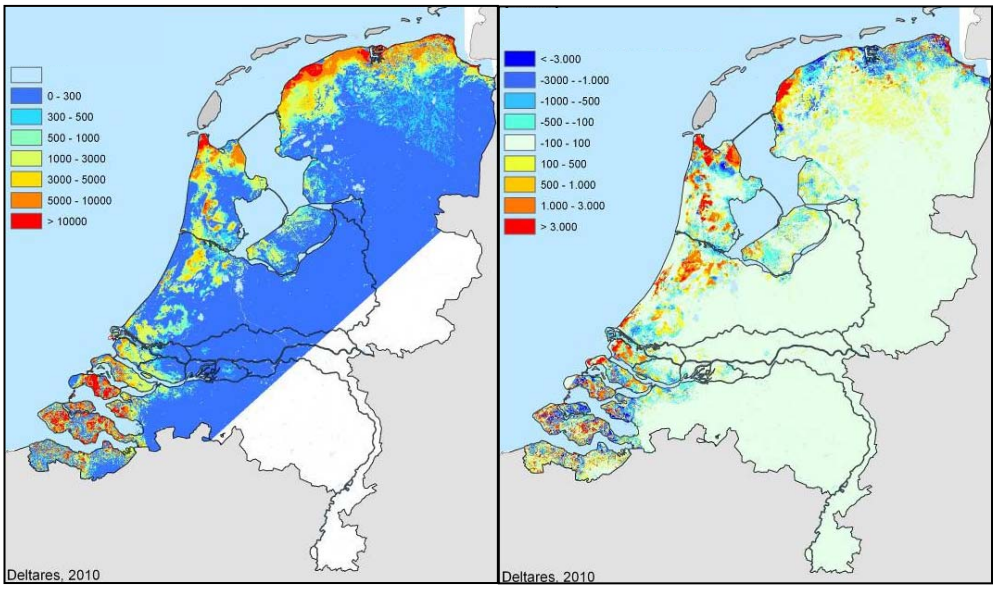


Figuur 7. Diepteligging van het zogenaamde brak/zout grensvlak in de ondergrond in meters ten opzichte van NAP.

Toepassing

De diepte waarop het grondwater brak, zout wordt is van belang voor de landbouw en de winning van drinkwater. De veranderingen in de zoet-zoutgrens als gevolg van klimaatverandering (Figuur 8, Deltares, 2010) zullen samen met de veranderende zoetwatervraag van invloed zijn op de landbouw en de gewassen die lokaal verbouwd kunnen worden (Deltares, 2010). Afhankelijk van het precieze karakter van deze ontwikkelingen zou in deze gebieden voor andere, zout tolerante gewassen verbouwd kunnen worden. Gebieden waar de

landbouw op termijn maatschappelijk gezien niet meer rendabel is kunnen in de toekomst een andere functie krijgen (natuur, stedelijk) en zouden in de visievorming betrokken moeten worden.

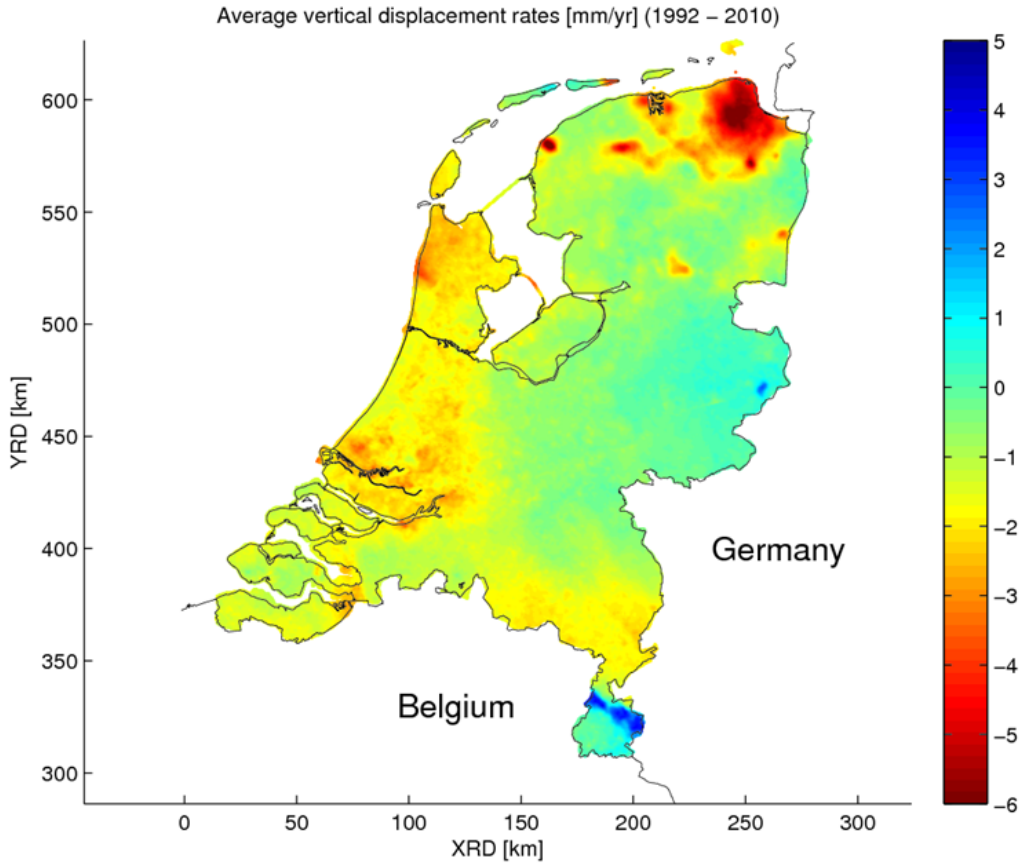


Figuur 8. Verdeling van de chloride concentratie aan de onderkant van de Holocene deklaag in 2050 volgens het W+ klimaatscenario (links) en de verandering van de chloride concentratie (rechts) over de periode 2000 – 2050 volgens het W+ scenario.

2.2.3 *Bodemdynamiek*

Cuenca et al. (2011) hebben de gemiddelde bodemdaling en –stijging met behulp van remote sensing beelden in kaart gebracht. Figuur 9 toont de gemiddelde verticale bodemverschuiving in mm/jaar over de periode 1992 – 2010. Duidelijk zichtbaar is de bodemdaling in Groningen door de winning van aardgas en in noordwest Friesland als gevolg van de zoutwinning. In de mijnstreek in Limburg daarentegen stijgt de bodem doordat de grondwaterstand zich daar langzaam aan het herstellen is. In de klei en veengebieden in Nederland daalt de bodem door zetting en klink van de ondergrond.
De kosten van bodemdaling door de winning van delfstoffen in de diepe ondergrond (gas, zout en steenkool) worden geschat op 6 miljoen euro (Mulder et al., 2003)

<u>Toepassing</u>
Nieuwe technieken maken het mogelijk om bodemdaling en stijging zeer lokaal op te sporen en potentiële schade aan gebouwen op te sporen (Figuur 10). Dezelfde techniek kan natuurlijk ook gebruikt worden in de locatiekeuze voor nieuwe ontwikkelingen. Locaties die een verhoogt risico kennen door locale sterke bodemdaling en – stijging zouden vermeden kunnen worden.



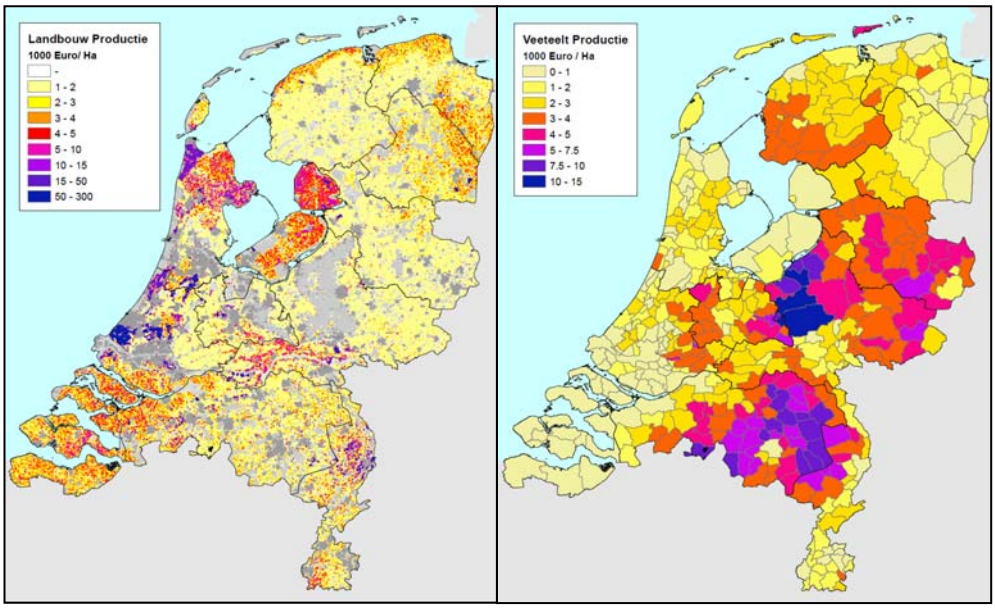
Figuur 9. Verticale verplaatsing van de bodem over de periode 1992 – 2010 in mm/jaar bepaald met remote sensing technieken.

Figuur 10. Voorbeeld van een ernstige lokale bodemverplaatsing bij winkelcentrum Het Loon in Heerlen (Hanssen, 2011).

2.3 Ecosysteemdiensten

2.3.1 Agrarische productie

De agrarische productie van voedsel is voor de mens een van de belangrijkste ecosysteemdiensten van de bodem. Het gaat daarbij om de productie van landbouwgewassen zoals tarwe, aardappelen, maïs en gras die voor een deel weer gebruikt worden als voedsel voor de veeteelt.



Figuur 11. Bruto productie in de landbouw (2004) en de veeteelt (2008) per hectare agrarisch landgebruik.

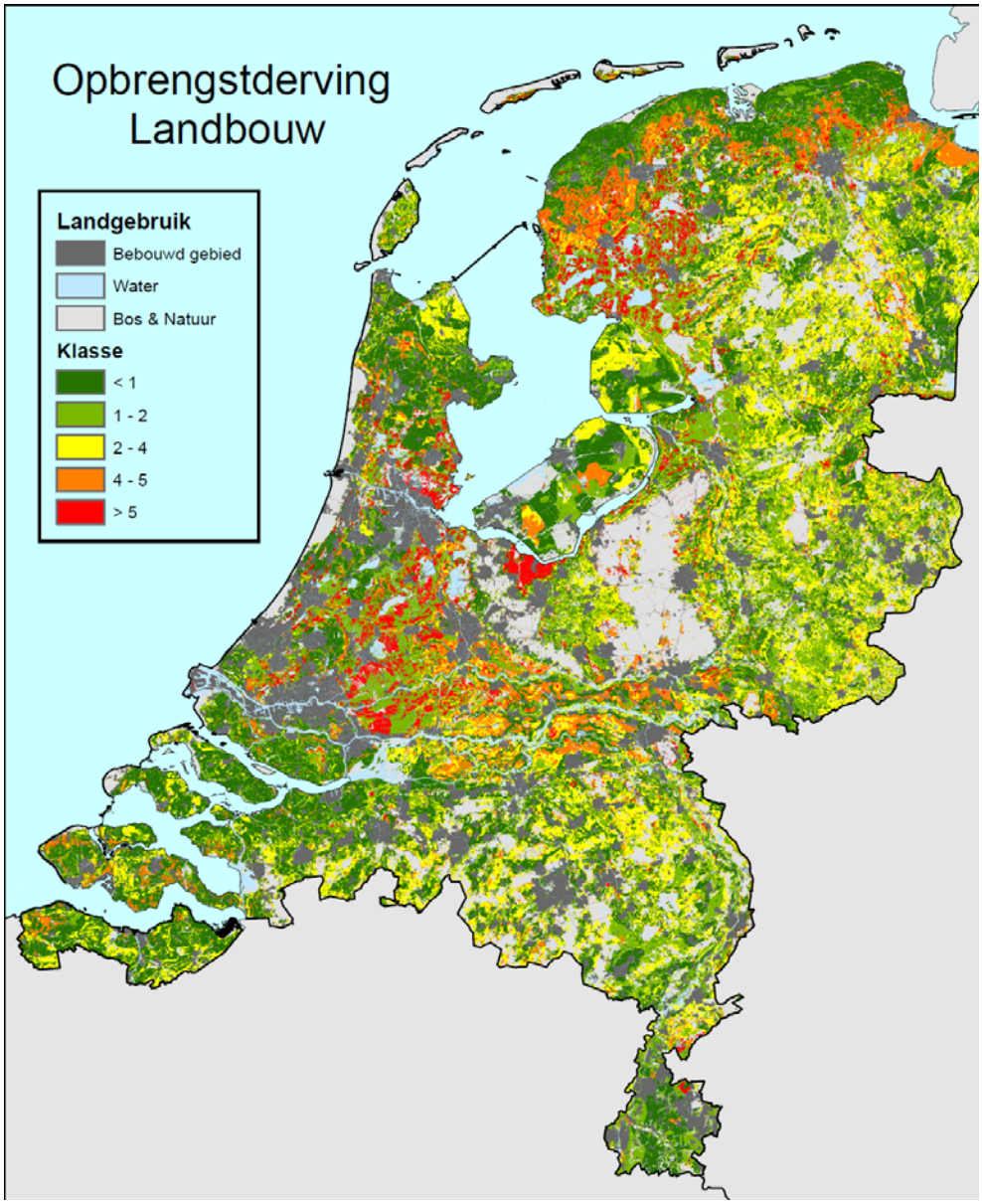
Figuur 11 toont de bruto productie per hectare in 2004 in de landbouw gebaseerd op het Landgebruik in 2004 (LGN5, Hazeu, 2005) en de gemiddelde productiewaarde per hectare zoals die is bepaald voor het model Agricom (RIZA, 2004). De bruto productie in de landbouw is het hoogst in de glastuinbouw gevolgd door de bloembollenteelt, fruitboomgaarden en de tuinbouw. De kosten horende bij deze productie zijn niet uitgezocht.
Aan de rechterzijde van Figuur 11 wordt de bruto productie in 2008 in de veeteelt getoond op basis van het aantal koeien, varkens, schapen, geiten, paarden, kippen en kalkoenen per gemeente zoals die beschikbaar zijn in Statline van het CBS, de marktprijs incl. BTW en het gemiddelde slachtgewicht in 2008 (LEI & CBS, 2009). De bruto productie is uitgedrukt per hectare agrarisch landgebruik uit 2007/2008 (LGN6, Hazeu et al., 2010) om een kaartbeeld te krijgen dat, tot op zekere hoogte, vergelijkbaar is met de productie in de landbouw. Ook voor de veeteelt zijn de kosten die bij deze productie horen niet uitgezocht.

<u>Toepassing</u>
In de ontwikkeling van nieuwe stedelijke gebieden en andere functies zou meer rekening gehouden kunnen worden met de kwaliteiten van de bodem. Indien vruchtbare bodems worden gebruikt voor urbane ontwikkelingen schuift de landbouw op naar meer marginale gronden. Die gronden vereisen een intensiever beheer, meer meststoffen, meer bestrijdingsmiddelen en een diepere bodembewerking.

2.3.2 Opbrengstderving in de Landbouw

De potentiële opbrengst in de landbouw hangt sterk af van de lokale bodem en grondwateromstandigheden. In het waterbeheer wordt sterk rekening gehouden met de effecten van ingrepen in de waterhuishouding op de landbouwopbrengst. Hiertoe is door de STOWA het Waternood instrumentarium ontwikkeld. In dit instrumentarium kunnen nat- en droogteschades voor 15 verschillende gewastypen worden bepaald afhankelijk van de grondtrappen en het bodemtype op basis van de zogenaamde HELP-tabellen (Van Bakel et al., 2005.)
Figuur 12 geeft de minimale opbrengstderving weer voor een groot aantal verschillende gewastypen afhankelijk van het lokale bodemtype en de grondwatertrap. De mate van opbrengstderving wordt weergegeven in klassen waarbij de klasse kleiner dan één de minste opbrengstderving heeft en klasse groter dan 5 de meeste. Door de minimale gewasderving over alle gewastypen te bepalen krijgt men een idee welke gebieden relatief meer en minder geschikt zijn voor de landbouw.
Deze kaart geeft slechts een indicatief beeld omdat de bepaling van de droogte- en natschade verouderd is, de zoutschade niet wordt meegenomen en omdat de bestaande methode geen rekening houdt met de ontwikkeling van het klimaat. (Van Bakel & van den Eertwegh, 2011). Momenteel worden deze HELP-tabellen herzien (H2O-18 p. 10, 2012). De eerste resultaten zouden in maart 2013 opgeleverd worden voor het Deltaprogramma Zoetwater. Op basis van de nieuwe methode voor doelrealisatie in de landbouw zou vervolgens een verbeterd beeld van de minimale opbrengstderving in de landbouw kunnen worden gemaakt.

<u>Toepassing</u>
Een verbeterde kaart van de minimale opbrengstderving kan worden gebruikt om een indicatief beeld te krijgen van gebieden die meer en minder geschikt zijn voor de landbouw. Gebieden die meer geschikt zijn voor de landbouw zouden voor de landbouw behouden moeten blijven terwijl de gebieden die minder geschikt zijn gebruikt kunnen worden voor de ontwikkeling van stedelijke functies of van natuur.

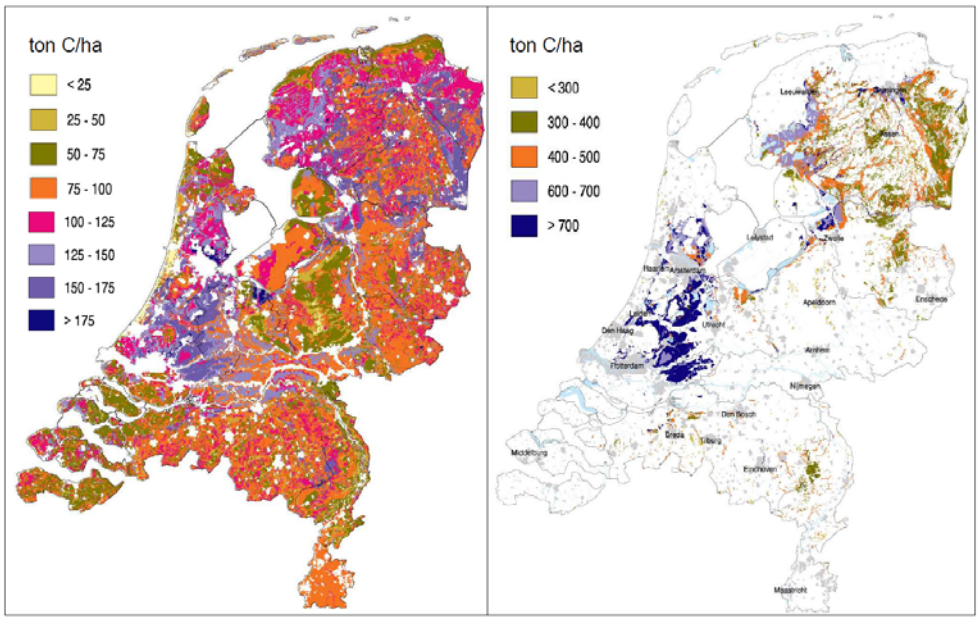


Figuur 12. Minimale opbrengstderving voor vijf verschillende gewastypen afhankelijk van het lokale bodemtype en de grondwatertrap. De opbrengstderving wordt weergegeven in klassen, de klasse kleiner heeft de minste opbrengstderving en de klasse groter dan 5 de meeste.

2.3.3 *Organische stof*

Het voorkomen van veen in bodem en ondergrond is van belang omdat het tot CO_2 zal oxideren als er voldoende zuurstof beschikbaar is zoals dat gebeurd als het grondwaterpeil wordt verlaagd. Het blijkt dat de totale emissie van CO_2 in de veengebieden in Nederland groter is dan de totale opname van CO_2 door de bossen in Nederland. (RIVM, 2012).
Figuur 13 geeft de voorraad koolstof (tonC/ha) in de Nederlandse bodem en ondergrond, links, in de toplaag van 0 tot 30 cm en rechts, in veenbodems van 0 tot 120 cm (Kuikman et al., 2002). Deze koolstof voorraad kan gemonetariseerd worden door te vermenigvuldigen met de waarde per ton C. De waarde van een ton C of CO_2 varieert sterk. De waarde van 1 ton CO_2 kan op

verschillende manieren bepaald worden. Hein (2011) hanteert een minimale waarde van 10 euro per ton CO_2 wat ongeveer overeenkomt met 30 euro per ton C. Uitgaande van gemiddeld 100 ton C per hectare in de bovenste 30 cm van de bodem zou dit een waarde zijn van 3000 euro per hectare. In veenbodems varieert de waarde van de koolstof voorraad in de bovenste 120 cm tussen de 10000 tot 20000 euro per hectare.
De CO_2 emissie door de verbranding van veen bedraagt 4.2 Tg CO_2-eq en vormt 2 procent van de totale CO_2-eq emissie van Nederland (RIVM, 2012). De emissie in deze veengebieden bedraagt gemiddeld 5.2 ton CO_2-eq/ha per jaar wat bij een prijs van circa 10 euro per ton CO_2 neerkomt op 52 euro/ha per jaar.



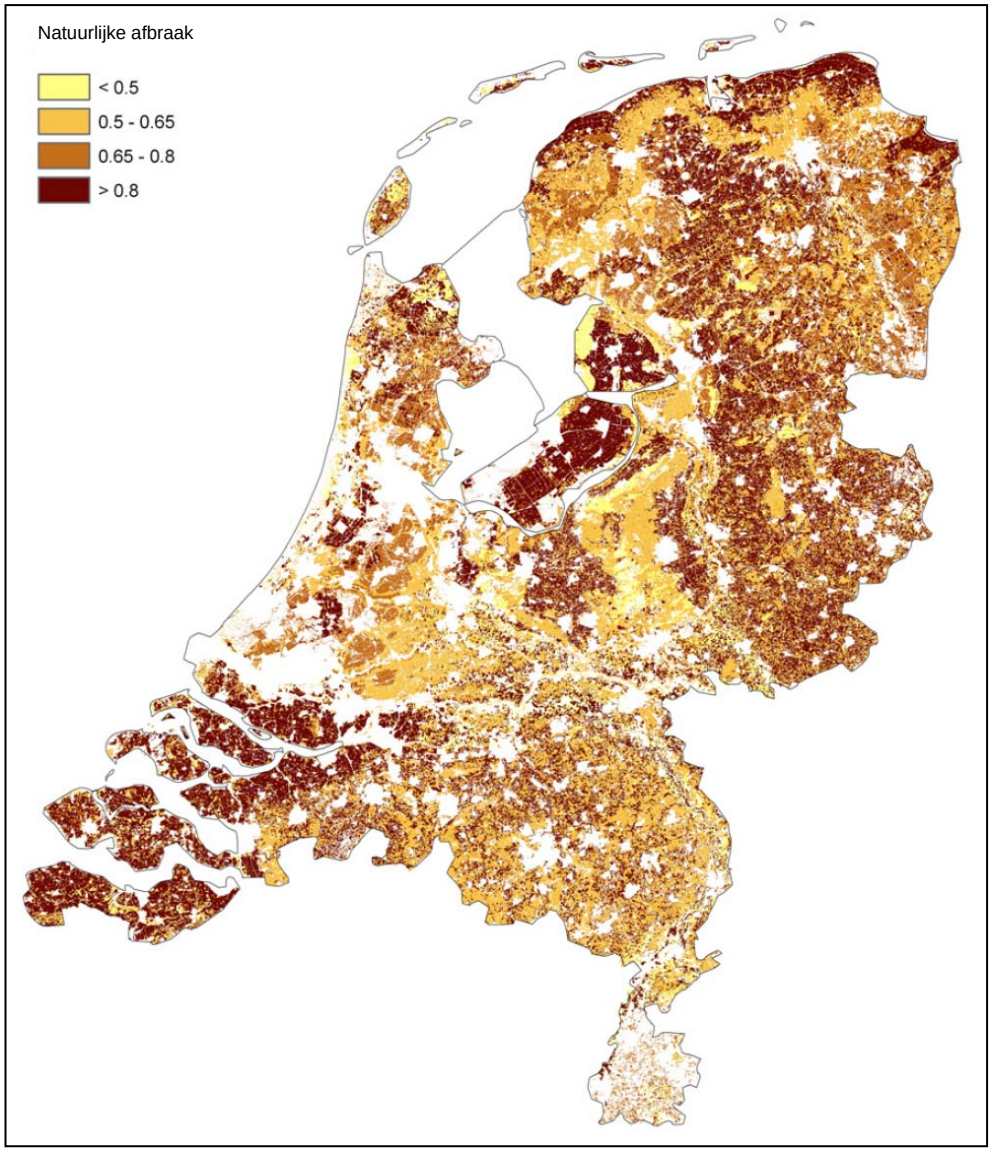
Figuur 13. Voorraad aan koolstof in de Nederlandse bodem uitgedrukt in tonC per ha. Links de voorraad in de bovenste 30 cm van de bodem, rechts, de voorraad koolstof in de bovenste 120 cm in veenbodems (Kuikman et al., 2002).

Toepassing

De CO_2 emissie uit de veengebieden kan dalen door het grondwaterpeil in het gebied te verhogen. Afhankelijk van de grondwaterstand wordt het gebruik van zwaar materieel in de landbouw moeilijker. Verandering van het huidige landgebruik naar natuur kan overwogen worden in gebieden waar de netto agrarische opbrengst relatief laag is en de maatschappelijke kosten van ondermeer het waterbeheer hoog relatief hoog zijn (Witteveen + Bos en Ecorys, 2006)

2.3.4 *Natuurlijke Afbraak Capaciteit van de Bodem*

Van Wijnen et al., (2012) presenteren een kaartbeeld van de natuurlijke afbraak capaciteit (NAC) van de bodem. Deze ecosysteemdienst is nodig om de bodem schoon te houden voor de productie van voedsel en schoon drinkwater. Daarnaast zorgt deze dienst voor een gezonde leefomgeving voor de bodemorganismen wat op zijn beurt weer bijdraagt aan de werking van allerlei andere ecosysteemdiensten.



Figuur 14. De relatieve natuurlijke afbraak capaciteit in de bodem in Nederland (Van Wijnen et al., 2012).

De methodiek om dit kaartbeeld te maken bestaat uit 3 stappen:

1. selectie van de 5 belangrijkste proxy indicatoren voor de NAC waar meetgegevens voor beschikbaar waren op basis van expert kennis (Rutgers et al., 2012): de functionele microbiële afbraak (FMA), de potentiële organische stof (PotC) en organisch stikstof mineralisatie (PotN), het organische stof gehalte (SOM) en fosfaat gehalte van de bodem (PAL = P2O5 geëxtraheerd met een oplossing van ammonium lactaat) en de pH.

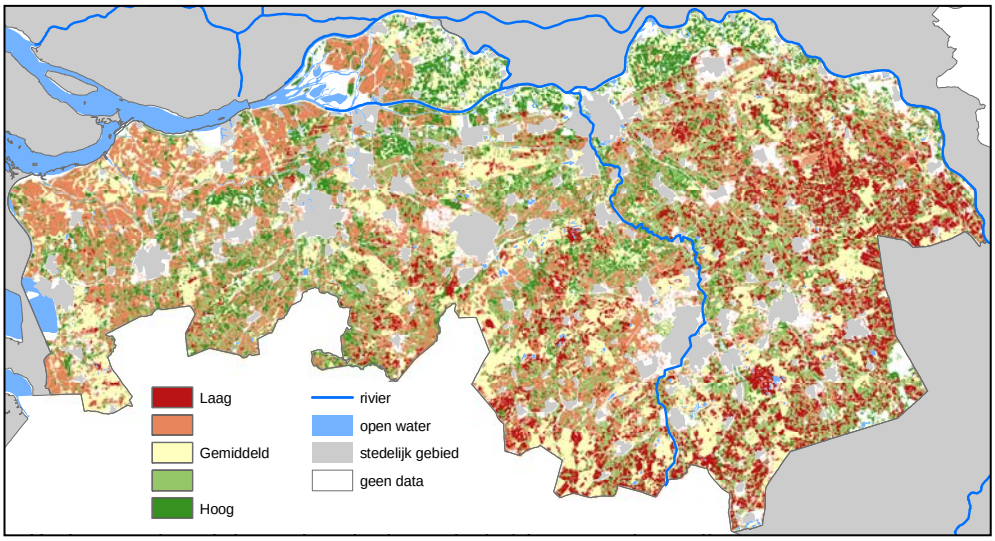
2. Simulatie van een landsdekkend beeld van FMA, PotC en PotN door de gemeten waarden van deze proxy indicatoren met een Generalized Linear Model te relateren aan bodemeigenschappen waarvoor wel een landsdekkend beeld beschikbaar was zoals het landgebruik, pH, organische stof en fosfaatgehalte.
3. Combinatie van 5 proxy indicatoren tot de NAC indicator waarbij de bijdrage van de proxy indicator gerelateerd werd aan een eerder bepaalde referentiekwaliteit (Rutgers et al., 2012).

De waarde van NAC indicator geeft een conceptueel, beschrijvend beeld van de mate van natuurlijke afbraak van organische stoffen in de bodem. Het relateren van de proxy indicatoren met een referentiesituatie laat zien in welke gebieden de natuurlijke attenuatie in bodem optimaal is en waar niet. De methode kan ook worden gebruikt worden om andere ecosysteemdiensten in kaart te brengen.
Figuur 14 toont de natuurlijke afbraak capaciteit in de bodem in Nederland. De natuurlijke afbraak blijkt relatief laag te zijn in de natuurgebieden en in akkerbouwgebieden gelegen op de zandgronden. De natuurlijke afbraak capaciteit is relatief hoog in de akkerbouwgebieden op klei en in de weidegebieden op zandgrond.

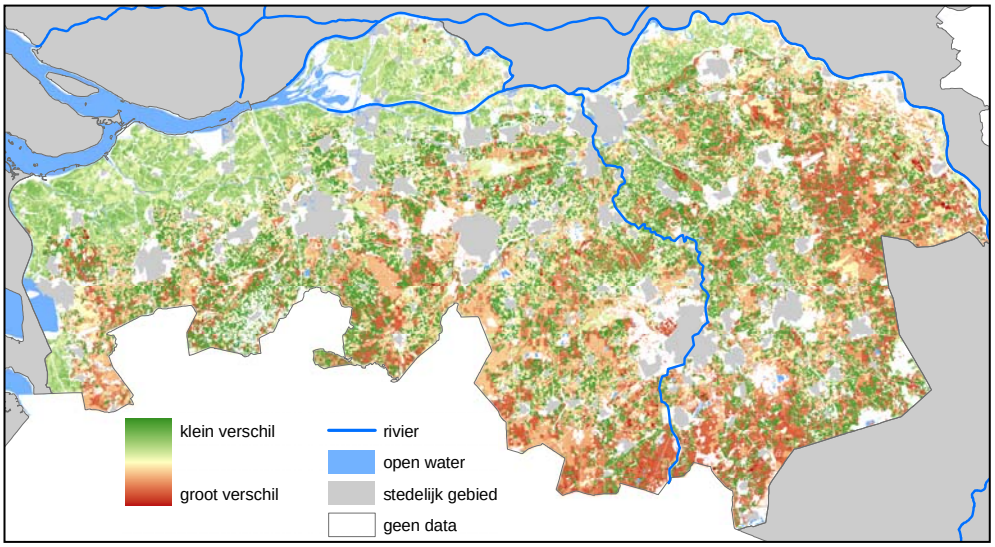
Toepassing
De natuurlijke afbraak capaciteit van de bodem vormt een van de aspecten die van belang zijn voor de ontwikkeling van een (meer) duurzame landbouw. Gebieden met een hogere natuurlijke afbraak capaciteit verdragen een hogere belasting met meststoffen en bestrijdingsmiddelen en kunnen intensiever gebruikt worden dan gebieden met een lagere natuurlijke afbraak capaciteit.

2.3.5 Bodembiodiversiteit

Op basis van gegevens uit het Bodembiologisch meetnet (Bobi) en geografische informatie over de bodem zoals pH, grondsoort, landgebruik, organisch stofgehalte en fosfaat gehalte is voor de provincie Noord-Brabant een kaart ontwikkeld van de bodembiodiversiteit (Rutgers et al., 2012).
Figuur 15 laat de berekende bodembiodiversiteit in Noord-Brabant zien. De meeste graslanden en halfnatuurlijk graslanden op rivierklei en sommige graslanden op zand hebben de hoogste bodembiodiversiteit. De graslanden op zand in het oosten van Noord-Brabant hebben veelal een iets lagere bodembiodiversiteit. Bossen en heideterreinen zijn veelal lichtgeel gekleurd en hebben een gemiddelde biodiversiteit. De akkerbouwgebieden op zeeklei en vooral die op zandgronden hebben de laagste biodiversiteit.
De bodembiodiversiteit hangt nauw samen met het bodemtype en het landgebruik. Om een idee te hebben wat een goede, duurzame bodembiodiversiteit is, is voor een groot aantal combinaties van landgebruik en bodemtype de Referentie Biologische Bodemkwaliteit bepaald op basis van locaties met een goede bodemkwaliteit (Rutgers et al., 2007).
Figuur 16 laat de berekende bodembiodiversiteit in Noord-Brabant zien ten opzichte van deze duurzame Referentie Biologische Bodemkwaliteit. In de groene gebieden is er slechts een klein verschil met de referentie in de donkerrode gebieden een groot verschil. In vergelijking met Figuur 15 valt het op dat de akkerbouwgebieden in absolute zin een lage bodembiodiversiteit hebben maar dat de bodembiodiversiteit slechts weinig verschilt van de bodembiodiversiteit in de referentie. Grasland op zand en klei hebben een relatief hoge kwaliteit, alsook akkerbouw op zeeklei. Akkers op zand hebben een lage bodembiodiversiteit ook ten opzichte van de referentiesituatie.



Figuur 15. Berekende bodembiodiversiteit in Noord-Brabant (Rutgers et al., 2012).



Figuur 16. Berekende bodembiodiversiteit in Noord-Brabant uitgedrukt ten opzichte van de Referentie Biologische Bodemkwaliteit (Rutgers et al., 2012).

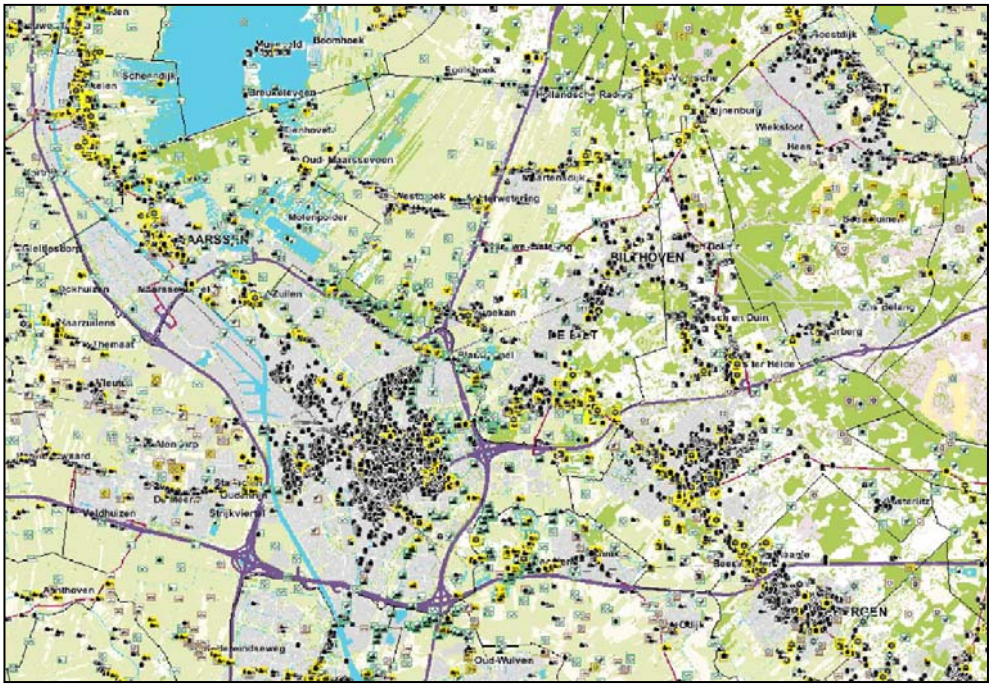
Rutgers et al. (2012) beschrijven naast de huidige bodembiodiversiteit ook de bodembiodiversiteit voor een aantal scenario's zoals het omzetten van maïs naar agrarisch grasland en een duurzamer agrarisch bodembeheer met meer aandacht voor het vastleggen van organisch stof in combinatie met een lagere belasting aan vermestende stoffen.

Toepassing

De bodembiodiversiteit is sterk afhankelijk van het type agrarisch gebruik. De bodembiodiversiteit is in akkerbouwgebieden lager dan in weidegebieden. De invloed van de akkerbouw op de bodembiodiversiteit is op zandgronden groter dan op klei. Deze kennis kan gebruikt worden in de ontwikkeling van een duurzamer gebruik van de bodem in de agrarische sector.

2.4 Cultuurhistorische waarden

Archeologische monumenten en -vindplaatsen, monumenten, beschermde stads- en dorpsgezichten landschappen en landschapselementen en de daarmee gerelateerde informatie wordt in Nederland beschikbaar gemaakt via de KennisInfrastructuur CultuurHistorie, kortweg KICH (www.kich.nl).
Door de vele objecten in KICH kan de informatie niet op nationale schaal worden weergegeven. Figuur 17 geeft een voorbeeld van alle relevante objecten in de regio Utrecht. De geel gemarkeerde objecten hebben een hoge of zeer hoge waarde.



Figuur 17. Overzicht van alle archeologische, monumentale en landschappelijke objecten in de regio Utrecht. De geel gemarkeerde objecten hebben een hoge of zeer hoge waarde.

Toepassing
De informatie in KICH is bedoeld om beleidsmakers en planvormers direct toegang te geven tot alle beschikbare kennis ten aanzien van cultuurhistorische objecten in Nederland. Nieuwe ruimtelijke ontwikkelingen kunnen daarbij direct beoordeeld worden op hun invloed op ondermeer de archeologische monumenten in de bodem en ondergrond.

2.5 Ondergronds transport

De ondiepe ondergrond wordt gebruikt voor transport van gas, water en elektriciteit. In het stedelijke gebied ligt de ondergrond vol met kabels en leidingen. Deze stedelijke netwerken zijn aangesloten op een nationaal netwerk. Voor elektriciteit ligt dit bovengronds maar voor gas en water ligt dit ondergronds.
Figuur 18 toont de buisleidingen in de regio Rotterdam (www.risicokaart.nl). In totaal heeft Nederland circa 18.000 km buisleiding voor het transport van gas, olie en gevaarlijke stoffen. Volgens de Structuurvisie Buisleidingen beslaan deze leidingen circa 0,5 procent van ons landoppervlak, inclusief de risicozonering gaat het om bijna 1 procent.

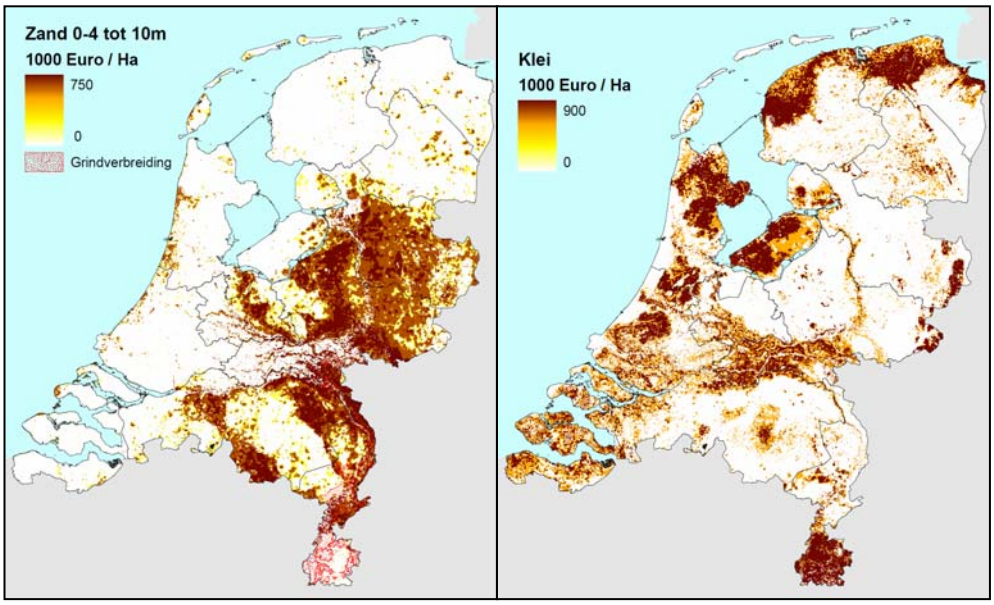
Figuur 18. Overzicht van de buisleidingen voor olie, gas en gevaarlijke stoffen in de regio Rotterdam (www.risicokaart.nl).

Toepassing

De ligging van buisleidingen voor olie en gas zijn bepalend voor de ontwikkeling van het bovengrondse ruimtegebruik. Op locaties waar deze buisleidingen liggen mogen afhankelijk van de risico's bepaalde ontwikkelingen niet plaatsvinden (VNG, 2009)

3 Het handelingsperspectief.

Het vorige hoofdstuk geeft een aantal kenmerken van bodem en ondergrond die relevant kunnen zijn voor de keuze van bepaalde ruimtelijke ontwikkelingen. Deze gegevens zouden centraal ontsloten worden zodat planvormers en andere betrokken partijen deze informatie kunnen gebruiken.
Het is echter de vraag in welke mate de verschillende kenmerken relevant zijn voor de ontwikkeling van de verschillende ruimtelijke functies en, als er meerdere kenmerken van belang zijn, hoe deze kenmerken gecombineerd kunnen worden voor het maken van integrale afwegingen. Feitelijk dienen de beschikbare gegevens daarbij vertaald te worden naar bruikbare kennis voor het beleid.
Ieder kenmerk van bodem of ondergrond heeft bepaalde voor- of nadelen voor de ontwikkeling van bepaalde ruimtelijke ontwikkelingen. Zetting van de ondergrond is van belang voor nieuwe stedelijke ontwikkelingen maar niet voor de landbouw of glastuinbouw. De aanwezigheid van aardwarmte is van belang voor functies die veel warmte vragen. Het is van belang om de voor- en nadelen van deze kenmerken te monetariseren voor verschillende ruimtelijke ontwikkelingen (wonen, bedrijfsterrein, glastuinbouw, landbouw, etc). De verschillende alternatieve ruimtelijke ontwikkelingen dienen daarbij zoals bij een maatschappelijke kosten-baten analyse (MKBA) vergeleken te worden met een referentiesituatie, de meest waarschijnlijke ontwikkeling, om na te gaan welke functiewijziging tot de hoogste maatschappelijke welvaart leidt (Eijgenraam et al., 2000; Koopmans, 2004; Ruijgrok et al., 2004, Alterra 2012). Uiteindelijk zou dit per kenmerk een kaartbeeld op moeten leveren dat een idee geeft van de waarde van de verschillende kenmerken en de ruimtelijke verdeling daarvan over Nederland (Figuur 19).



Figuur 19. Voorbeeld van de waarde van zand en klei uitgedrukt in euro per hectare.

Om locaties voor bepaalde ruimtelijke ontwikkelingen te selecteren moet de invloed van de verschillende kenmerken van bodem en ondergrond gecombineerd worden (Tabel 2). In eerste instantie zou de invloed van de verschillende kenmerken gesommeerd kunnen worden. Het is echter de vraag in hoeverre bepaalde kenmerken elkaar versterken of opheffen.

Tabel 2. Indicatief overzicht van de invloed van de verschillende kenmerken van bodem en ondergrond op ruimtelijke ontwikkelingen. Positieve invloed wordt weergegeven met een '+ ', negatieve invloed met een '- ', een '?' geeft aan dat de invloed op de ontwikkeling onduidelijk is.

	Ontwikkeling van:											
Kenmerk:	Wonen	Voorziening	Kantoor	Bedrijfsruimte	Infrastructuur	Glastuinbouw	Tuinbouw	Landbouw	Veeteelt	Bos	Natuur	Waterberging	Drinkwater
Zand, grind, klei	+	+	+	+	+					+	+	+	
Strategisch grondwater										+	+	+	+
Veel aardwarmte	+	+	+	+		+							
Hoge draagkracht	+	+	+	+	+								
Zout grondwater						-	-	-	-				-
Hoge bodemdynamiek	-	-	-	-	?	?							
Hoge agrarische productie	-	-	-	-	-	+	+	+	+	-	-	-	-
Hoge opbrengstderving	+	+	+	+	+	-	-	-	-	+	+	+	+
Veel Organische stof	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	
Hoge natuurlijke afbraak capaciteit						+	+	+	+	+	+	+	+
Hoge Bodembiodiversiteit						?	?	?	?	+	+	+	+
Cultuur historische waarden	?	?	?	?	?								
Ondergronds transport	-	-	-	-	?					+	+	+	-
.....													

De tabel geeft slechts een eerste inventarisatie van de verschillende kenmerken in relatie tot een beperkt aantal ruimtelijke ontwikkelingen. Het geeft een voorbeeld hoe de verschillende kenmerken van bodem en ondergrond zich verhouden tot de verschillende ruimtelijke ontwikkelingen.
De verschillende kenmerken kunnen van belang zijn voor de ruimtelijke ontwikkelingen op locale schaal. Een aantal kenmerken is van belang voor de ruimtelijke ontwikkeling op regionale of nationale schaal. Sommige kenmerken, zoals het voorkomen van aardwarmte, zullen afhankelijk van het economische nut ruimtelijk structurerend werken, andere kenmerken, zoals het strategisch grondwater, dienen vanuit de overheid beschermt te worden. Het is aan het beleid om vanuit de maatschappelijke opgaven prioriteiten te stellen en welke kenmerken op welke manier benut gaan worden in het nationaal of regionaal beleid.

4 Conclusies en aanbevelingen

Deze rapportage geeft een eerste inventarisatie van verschillende kenmerken van bodem en ondergrond die voor een duurzame ruimtelijke ontwikkeling van belang kunnen zijn. Deze rapportage is niet volledig. Zo is er meer informatie bekend over de invloed van bodem en water op de gewasproductie in de landbouw, bodemsaneringlocaties, warmtekoude opslag, CO_2 opslag en ten aanzien van duurzame drinkwaterwinning. Daarnaast is er nog weinig bekend over verschillende ecosysteemdiensten zoals de productie van biomassa, waterberging of het filtrerende vermogen van de bodem in relatie tot ruimtelijke keuzen. Verdergaand onderzoek zou deze aspecten beter in beeld kunnen brengen.
De invloed van de kenmerken is sterk afhankelijk van het type ruimtelijke ontwikkeling en de specifieke locatie. Samenvattend kunnen de volgende conclusies getrokken worden:

- het voorkomen van aardwarmte is van belang voor functies die veel warmte vragen zoals glastuinbouw, wonen maar ook bedrijven- en kantoorterreinen;
- de draagkracht van de bodem is van belang voor alle urbane functies. Naast de bouwkosten zouden ook de onderhoudskosten expliciet meegewogen moeten worden in de beoordeling van nieuwe urbane ontwikkelingen;
- in sommige gebieden is de dynamiek van de bodem lokaal zo sterk dat het raadzaam is om de risico's van bodemdaling/stijging voor de bestaande bebouwing en eventuele nieuwe ontwikkelingen in beeld te brengen;
- door de winning van zand, grind of klei kunnen de netto ontwikkelingskosten van een project - natuur, woonwijk, waterberging- lager uitvallen;
- voor een duurzame landbouw is het van belang beter rekening te houden met de natuurlijke eigenschappen van bodem en ondergrond zoals opbrengstderving, de natuurlijke afbraak capaciteit, de bodembiodiversiteit en - de ontwikkeling van - het organische stof en het zoutgehalte;
- om in bepaalde gebieden het grondwater veilig te stellen voor toekomstig gebruik als drinkwater wordt het aanbevolen om activiteiten die dit toekomstig gebruik in gevaar brengen te beperken;
- bodem en ondergrond zijn niet overal in dezelfde mate geschikt voor de productie van gewassen in de landbouw. In de locatiekeuze voor nieuwe stedelijke uitbreidingen en natuurgebieden zou vanuit het oogpunt van duurzaamheid meer rekening mee gehouden kunnen worden met de geschiktheid van de bodem voor de landbouw. Goede landbouwgronden zouden behouden moet blijven voor de landbouw, voor de stedelijke uitbreidingen of natuurontwikkeling zouden preferent de slechtere landbouw gebruikt kunnen worden.

Om de ruimtelijke keuzen in relatie tot bodem en ondergrond goed te kunnen maken zouden de beschikbare geografische informatie centraal via een website aan alle betrokkenen, overheden, burgers, en bedrijven, samen met de instrumenten die kunnen bijdragen aan een goede afweging, toegankelijk gemaakt kunnen worden.
Om een goede ruimtelijke afweging te kunnen maken zou de invloed van de verschillende ruimtelijke kenmerken vertaald moeten worden in de additionele maatschappelijke kosten en baten voor de verschillende ruimtelijke functies ten opzichte van een huidige situatie. Op die manier kan ook rekening gehouden met stapeling van verschillende kenmerken (Alterra, 2012).

5 Referenties

Alterra (2012) TEEB voor Fysiek Nederland. Rapportage van de voorstudie. CONCEPT. Alterra, Wageningen.

Bakker (2011) Aanvulling Redeneerlijn voor de ondergrond; Locatiespecifieke praktijkvoorbeelden. Agentschap NL, Utrecht.

Cuenca, M.C., Hanssen, R., Arikan M., Hooper, A. (2011) Surface deformation of the whole Netherlands after PSI analysis. Abstractbook FRINGE 2011 WORKSHOP, 19-23 September 2011, ESA-ESRIN, Frascati Rome, Italy

Deltares (2010) Verzilting en verzoeting van het grondwater systeem in Nederland onder invloed van klimaatscenario's, gebruik makend van het Nationaal Hydrologisch Instrumentarium module Zoet-Zout. NHI-memo. Deltares, Utrecht.

Eijgenraam, C.J.J., C.C. Koopmans, Tang, P.J.G., Verster, A.C.P., (2000). Evaluatie van infrastructuurprojecten; leidraad voor Kosten-batenanalyse, Deel I: Hoofdrapport Onderzoeksprogramma Economische Effecten Infrastructuur, Den Haag.

EPA (1987) DRASTIC: A Standardized System for Evaluating Ground Water Pollution Potential Using Hydrogeologic Settings. EPA / 600/2-87/035. Robert S Kerr Environmental Research Laboratory, US-EPA, Ada, Oklahoma 74820, US.

Gun, J. van der (2010) Handreiking Gebiedsgericht Grondwaterbeheer. BodemBeheer bv. Schalkwijk

Jiménez-Madrid, A., F. Carrasco-Contos, C. Martinez-Navarrete. (2012) Protection of groundwater intended for human consumption: a proposed methodology for defining safeguard zones. Eviron. Earth Sci. 65: 2391-2406.

H2Ruimte (2011) Duurzame gebiedsontwikkeling: Doe de tienkamp. Praktijkleerstoel Gebiedsontwikkeling TU Delft

Hanssen, R., M. Caro Cuenca , C.Tiberius, P. Mahapatra, S. Samiei□Esfahany, H. van der Marel, P. Dheenathayalan, L. Chang, A. Hooper, M. Arikan (2012) Hoogte in de Lage Landen: AHN3. Technische ontwikkeling hoogteverandering. Presentatie. AHN Congres De waarde van hoogte in de Lage Landen, Ede, 6 maart 2012

Hazeu, G.W. (2005) Landelijk Grondgebruiksbestand Nederland (LGN5); Vervaardiging, nauwkeurigheid en gebruik. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1213.

Hazeu, G.W., C. Schuiling, G.J. Dorland, J. Oldengarm en H.A. Gijsbertse (2010) Grondgebruiksbestand Nederland versie 6 (LGN6); Vervaardiging, nauwkeurigheid en gebruik. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 2012

Hein, L. (2011) Economic benefits generated by protected areas: the case of the Hoge Veluwe forest, the Netherlands. Ecology and Society 16(2): 13.

Hellebrand, K., Post, R.P., Groen, B. in 't (2012) Kansen voor Ondiepe Geothermie voor de glastuinbouw. KEMA, Arnhem.

I&M (2011) Concept Handreiking Duurzame Ruimtelijke Ontwikkeling. Ministerie van Infrastructuur en Milieu. Den Haag

I&M (2012) Structuurvisie Infrastructuur en Ruimte. Nederland concurrerend, bereikbaar, leefbaar en veilig. Ministerie van Infrastructuur en Milieu. Den Haag

Koopmans, C.C. (2004) Heldere Presentatie OEI – Aanvulling op de Leidraad OEI. Ministerie van Verkeer en Waterstaat en Ministerie van Economische Zaken, Den Haag.

KPMG (2012a) TEEB voor het Nederlandse bedrijfsleven. . The Economics of Ecosystems and Biodiversity. KPMG, Amstelveen

KPMG (2012b) Groen gezond en productief. The Economics of Ecosystems and Biodiversity (TEEB NL): natuur en gezondheid. KPMG, Amstelveen

Kuikman, P.J., W.J.M. de Groot, R.F.A. Hendriks, J. Verhagen & F. de Vries, 2003. Stocks of C in soils and emissions of CO2 from agricultural soils in the Netherlands. Alterra-rapport 561. Alterra, Wageningen.

KWR & UU (2010) Ordening van de Ondergrond. Een fysiek en juridisch afwegingskader. KWR, Nieuwegein.

LEI & CBS (2009) Land- en tuinbouwcijfers 2009. ISSN 1386-9566. LEI-rapport 2009-069

LNV (2006) Kentallen Waardering Natuur, Water, Bodem en Landschap. Hulpmiddel bij MKBA´s. Eerste editie. Ministerie van Landbouw Natuur en Visserij, Den Haag.

MA (2005) Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. Island Press, Washington, DC.

Mulder, F.P. de, Geluk, M.C., Ritsema, I.L., Wetsrehoff, W.E., Wong, T.E. (2003) De ondergrond van Nederland. ISBN 90 01 605141. Wolters-Noordhoff Groningen/Houten.

RIVM (2012) Greenhouse Gas Emissions in the Netherlands 1990-2010. National Inventory Report 2012. RIVM Report 680355007/2012. RIVM, Bilthoven.

RIZA (2004) Prijzen en productiviteit van landbouwgewassen. Update ten behoeve van het AGRICOM model. RIZA werkdocument 2004.120x, Lelystad

Royal Haskoning (2009) Gebruik van de ondergrond, ingrediënten voor een afweging. Ref. 9T2518/R00001/902401/DenB. Royal Haskoning, Arnhem

Ruijgrok, E.C.M, R. Brouwer, H. Verbruggen (2004). Waardering van natuur, water en bodem in Maat-schappelijke Kosten Baten Analyses, Een handreiking ter aanvulling op de OEI-leidraad, Ministeries van V&W, EZ en LNV, Den Haag.

Rutgers M, Mulder C, Schouten AJ, Bloem J, Bogte JJ, Breure AM, Brussaard L, De Goede RGM, Faber JH, Jagers op Akkerhuis GAJM, Keidel H, Korthals G, Smeding FW, Ter Berg C, Van Eekeren N (2007) Typeringen van bodemecosysteem in Nederland met tien referenties voor biologische bodemkwaliteit. Rapport 607604008, RIVM, Bilthoven.

Rutgers M, Van Wijnen HJ, Schouten AJ, Mulder C, Kuiten AMP, Brussaard L, Breure AM (2012) A method to assess ecosystem services developed from soil attributes with stakeholders and data of four arable farms. Science of the Total Environment 415:39-48.

Tauw (2009) De redeneerlijn voor de ondergrond. Kenmerk R001-4596006PZO-cmn-V02-NL. Tauw, Deventer

TCB (2011) Advies Elementen voor duurzaam gebruik van de ondergrond. TCB, Den Haag

TCB (2012a) Duurzaam gebruik van de ondergrond. TCB, Den Haag

TCB (2012b) Advies beter besluiten met ecosysteemdiensten. TCB, Den Haag

TEEB (2010) The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Mainstreaming the Economics of Nature: A synthesis of the approach, conclusions and recommendations of TEEB.

TNO (2009) Baten van de ondergrond. TNO-Rapport -034-DTM-2009-01489. TNO, Delft.

TNO (2009) Benutten van de baten van de ondergrond Kenmerk: SMDO09_c_09_35243. TNO, Delft.

Van Bakel P., J. Huinink, H. Prak en F. van der Bolt (2005). HELP-2005. Uitbreiding en actualisering van de HELP-tabellen ten behoeve van het Waternood-instrumentarium. STOWA/DLG/Alterra/LNV. STOWA-rapport 2005-16

Van Bakel, J. & van den Eertwegh, G. (2011) Nieuwe mogelijkheden voor herziening van de HELP-tabel. H2O, v. 18, p 31-33.

Van Wijnen HJ, Rutgers M, Schouten AJ, Mulder C, De Zwart D, Breure AM (2012) How to calculate the spatial distribution of ecosystem services across the Netherlands. Science of the Total Environment 415:49-55.

VNG (2009) Bedrijven en milieuzonering. Handreiking voor maatwerk in de gemeentelijke ruimtelijke ordeningspraktijk. SDU Uitgevers. Den Haag.

VROM (2010) Rijksvisie op het duurzaam gebruik van de ondergrond. Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer. Den Haag.

Witteveen + Bos en Ecorys, 2006, MKBA Functie volgt Peil Westelijk Veenweidegebied, Rotterdam.

Dit is een uitgave van:

Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu
Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven
www.rivm.nl