Ecosysteemdiensten van grondwater en ondergrond

Beschrijvingen en relaties met activiteiten en maatregelen

Deltares 1209468-012-BGS-0002
RIVM rapport 2014-0167

Ecosysteemdiensten van grondwater en ondergrond

Beschrijvingen en relaties met activiteiten en maatregelen

Deltares Briefrapport 1209468-012-BGS-0002
RIVM rapport 2014-0167



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

Deltares
Enabling Delta Life



Colofon

© RIVM 2015
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.

© Deltares 2015
Deltares Briefrapport 1209468-012-BGS-0002

Sophie Vermooten, Deltares
Johannes. P.A. Lijzen, RIVM

Met bijdragen van:
Patrick Beelen (RIVM)
Jacqueline Claessens (RIVM)
Marijn Kuijper (Deltares)
Pauline van Gaans (Deltares)
Janneke Klein (Deltares)
Remco van Ek (Deltares)
Michiel Rutgers (RIVM)
Frank Swartjes (RIVM)

Niels van Oostrom (Deltares)
Jelle Buma (Deltares)
Roelof Stuurman (Deltares)
Bas van de Zaan (Deltares)
Wilko Verweij (RIVM)
Suzanne van der Meulen (Deltares)

Contact:
S. Vermooten
Deltares
Sophie.vermooten@deltares.nl

Contact:
J.P.A. Lijzen
RIVM-DMG
johannes.lijzen@rivm.nl

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van Ministerie van IenM/ Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving, in het kader van 'Ondersteuning preventief beleid (M/607710/11/DC)' en het KPP programma 'afwegingskader grondwater en ondergrond' (project 1209468-012)

Dit is een uitgave van:
Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu
Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven
Nederland
www.rivm.nl

Publiekssamenvatting

Ecosysteemdiensten van grondwater en ondergrond

De mens maakt steeds meer gebruik van de 'diensten' die het grondwater en de ondergrond (onder het maaiveld) leveren. Voorbeelden van deze zogeheten ecosysteemdiensten zijn de beschikbaarheid van water voor drinkwaterproductie, de opslag van energie en het reinigend vermogen van de ondergrond. De kennis van deze ecosysteemdiensten is belangrijk voor publieke en private partijen om de waarde van het grondwater en de ondergrond beter te bepalen, wat eraan kan bijdragen dat afwegingen over maatregelen en inrichting van gebieden beter kunnen worden gemaakt.

In 2013 is een concept opgesteld voor een afwegingskader voor het gebruik van het grondwater en de ondergrond. Er is een inventarisatie en beschrijving gemaakt van activiteiten en van ecosysteemdiensten van het grondwater en de ondergrond. Voor het eerst is weergegeven hoe activiteiten van de mens en ecosysteemdiensten van het grondwater en de ondergrond elkaar beïnvloeden.

In dit vervolg zijn de ecosysteemdiensten van grondwater en ondergrond uitgebreider gedefinieerd en uitgewerkt; kwalitatief en zo mogelijk kwantitatief. Er is duidelijk gemaakt welke voorwaarden een ecosysteem stelt om duurzaam een ecosysteemdienst te kunnen leveren, hoe de ecosysteemdienst wordt beïnvloed, maar ook welke beleidsopgaven er mogelijk volgen uit die voorwaarden.
Er zijn elf ecosysteemdiensten. Ze zijn onverdeeld in productie-, regulerende en culturele diensten. De twee productiediensten zijn beschikbaarheid van voldoende water van een bepaalde kwaliteit en energie. De zeven regulerende diensten zijn: reinigend vermogen van de ondergrond, draagkracht, bergingscapaciteit, de rol van de ondergrond en grondwater in biochemische cycli, temperatuurregulatie, voorzien in watervoerendheid en waterkwaliteit oppervlaktewater, en voeding van grondwaterafhankelijke natuur. De twee culturele diensten betreffen belevings- en cultuurhistorische waarden, en de biodiversiteit.

Kernwoorden: ecosysteemdiensten, grondwater, ondergrond.

Synopsis

Ecosystem services of the groundwater and subsurface

The use of the services of groundwater and the subsurface is steadily increasing. Examples of these ecosystem services are the availability of water for the production of drinking water, energy storage and the attenuation capacity of the subsurface. The knowledge of these ecosystem services is important for the public, the private sector and society to better estimate the value of the groundwater and the subsurface. It contributes to better informed decision making with respect to measures and spatial planning.

In 2013 a conceptual framework was defined for the assessment of the sustainable use of groundwater and the subsurface. An inventory and descriptions were made of different types of use of the groundwater and subsurface. For the first time it is described how anthropogenic *activities* influences the *ecosystem services* delivered by the groundwater and the subsurface, and *vice versa*.
With this follow up study the ecosystem services of the groundwater and the subsurface are described in more detail, both qualitatively and when possible in a quantitative way. We described conditions which an ecosystem requires to sustainably deliver its service, and how this ecosystem service is influenced, but also which policy challenges may result from this.

Eleven ecosystem services were described, consisting of provisioning services, regulating services and cultural services. The provisioning services include the availability of sufficient water with specific quality and energetic content. The seven regulating services include: attenuation and purification capacity of the subsurface, bearing capacity of the soil and subsurface, storage capacity, bio-geochemical cycles , temperature regulation, providing surface water baseflow and surface water quality, upward seepage to groundwater dependent nature reserves. The two cultural services include cultural-historical values and the biodiversity.

Keywords: ecosystem services, groundwater, subsurface

Inhoudsopgave

Inhoudsopgave — 7

1 Inleiding — 9
1.1 Aanleiding — 9
1.2 Doel en vraagstelling — 9
1.3 Werkwijze — 10
1.4 Beleidscontext — 10
1.5 Indeling ESD en internationale ontwikkelingen — 11
1.5.1 Keuze van ESD — 11
1.5.2 Internationale indeling 'Ecosystem services' — 12
1.5.3 Indeling CICES en MAES en nieuwe ontwikkelingen — 13

2 Methode van uitwerking ecosysteemdiensten en resultaten — 15

3 Conclusies en aanbevelingen — 17

4 Referenties — 19

5 Bijlagen — 21

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

In 2013 is een rapportage opgesteld over het gebruik van ecosysteemdiensten van het grondwater en ondergrond: 'Afwegingen bij het gebruik van grondwater en de ondergrond', Een verkenning op basis van ecosysteemdiensten (Broers en Lijzen, 2014). De diverse vormen van gebruik van de ondergrond en de verschillende ecosysteemdiensten zijn toen geïnventariseerd. Daarbij is, mede in overleg met de begeleidingsgroep, besloten onderscheid te maken in:

- *de activiteiten in het grondwater en de ondergrond*, ofwel de diverse vormen van feitelijk gebruik van ondergrond of de bodem; inclusief de bovengrondse vormen van gebruik die invloed hebben op de toestand van het grondwater en de ondergrond
- de *ecosysteemdiensten van het grondwater en de ondergrond.*

Het bleek namelijk dat deze begrippen door elkaar werden gebruikt, wat de helderheid van de argumentaties en bevindingen niet ten goede kwam[1].

In de studie uit 2013 zijn destijds activiteiten als ingang genomen en is nagegaan:

- welke ecosysteemdiensten door de activiteit worden gebruikt of nodig zijn
- of ecosysteemdiensten door het gebruik in omvang groter of kleiner worden, zodat ze in meer of mindere mate voor andere activiteiten beschikbaar zijn of blijven. Met andere woorden: concurreren de activiteiten om die ecosysteemdiensten?
- of activiteiten elkaar onderling uitsluiten, negatief beïnvloeden of versterken.

De beschrijving van de ecosysteemdiensten zelf is daarbij toen met opzet kort en scherp gehouden. Tijdens de uitwerking is destijds opgemerkt dat het daarnaast ook heel zinvol is om vanuit de ecosysteemdiensten (ESD) zelf te denken en de ESD dus verder uit te werken. Op die manier wordt duidelijk welke voorwaarden een ESD stelt om duurzaam de dienst te kunnen leveren, maar ook welke beleidsopgaven er mogelijk volgen uit die voorwaarden. Dit is uitgewerkt in 2014 in de vorm van 11 beschrijvingen van ESD (als bijlage toegevoegd).

1.2 Doel en vraagstelling

Het doel van deze studie is om inzicht te geven in de ecosysteemdiensten die het grondwater en de ondergrond leveren om bij het maken van ruimtelijke of lokale afwegingen de waarde beter te kunnen inschatten en om de vraag te kunnen beantwoorden welke voorwaarden een ESD stelt om duurzaam te kunnen functioneren.

De volgende vragen zijn hier van belang;

[1] De ecosysteemdiensten van de bodem waren geen onderdeel van deze studie

- Hoe definiëren we de ESD
- Hoe functioneert de ESD en wanneer gaat dit beter en wanneer slechter?
- Hoe (voor welke doelen of activiteiten) wordt de ESD gebruikt?
- Hoe wordt een ESD positief of negatief beïnvloed door een activiteit?
- Welke maatregelen kunnen de ESD optimaliseren?
- Welke toekomstige trends hebben invloed op de ESD?
- Welke data(sets) zijn er beschikbaar om de ESD meetbaar te maken en in kaart te brengen (uit de Atlas Natuurlijk Kapitaal (ANK) en andere bronnen)?

1.3 Werkwijze

Bij het opstellen van de factsheets zijn de volgende stappen doorlopen:

1) Uitwerken van een pilotfactsheet van een ESD, zowel door Deltares als een ander door RIVM. Bij Deltares was dit de ESD 'Reinigend vermogen van de ondergrond' en bij RIVM was dit de ESD 'Draagkracht'.
2) Afstemming tussen Deltares en RIVM om te komen tot een standaardstructuur van de ESD-factsheets. De 11 ESD zijn verdeeld tussen RIVM en Deltares op basis van de beschikbaarheid van deskundige personen op de verschillende onderwerpen.
3) Uitwerken van de eerste versie van de verschillende ESD factsheets door Deltares en door RIVM.
4) Uitwisseling en review van factsheets en tweede afstemming waarbij RIVM feedback geeft op de ESD's geschreven door Deltares en vice versa.

Niet alle benodigde informatie voor het opstellen van zo'n factsheet 'ligt op de plank'. Voor de beschrijvingen van de ESD is in eerste instantie gebruik gemaakt van bestaand materiaal. Zo veel mogelijk zal ook naar dit materiaal worden verwezen. Dit briefrapport vormt een korte toelichting op de ESD beschrijvingen die in de bijlage zijn opgenomen De 11 factsheets van de ESD's zullen online bereikbaar zijn (bodemambities.nl) en de website van ANK (zie 1.4).

1.4 Beleidscontext

Structuurvisie ondergrond (STRONG):
In juni 2014 is na een interactief proces met alle decentrale overheden de rapportage 'Opgaven voor de ondergrond; Probleemstelling van het Programma STRONG', juni 2014 (Min IenM, 2014) opgeleverd. Voor het opstellen van de beleidsopgaven is ook gebruik gemaakt van het in 2013 uitgevoerde werk van Broers en Lijzen, 2014.
Betrokken partijen zullen vanuit de beleidsopgaven de probleemstelling gaan uitwerken uitwerking gaan geven aan de probleemstelling. De uitwerking van de gezamenlijke beleidsontwikkeling is zowel binnen bestaand beleidskader als binnen nog te ontwikkelen beleid mogelijk. Samen met een ontwerp-structuurvisie zal een Maatschappelijke Kosten en Baten Analyse (MKBA) en een milieueffectrapportage bij ruimtelijke plannen (plan-MER) aan de kamer aangeboden gaan worden. Door de verschillende (decentrale) beleidsmakers worden dan afspraken

gemaakt over een gezamenlijk te hanteren afwegingssystematiek voor de ondergrond. Uitgangspunten zijn daarbij onder meer:

- Decentraal wat kan en centraal wat moet;
- Ruimte voor toekomstige afwegingen;
- Alleen reserveren/beschermen wat nodig is;
- Ruimte voor initiatieven van de marktpartijen;
- Borgen van publieke belangen;
- Zorgvuldig omgaan met potenties van de ondergrond.

Voor het maken van afwegingen tussen gebruik van ESD, is behoefte aan objectieve en toegankelijke informatie om afwegingen te kunnen maken. De beschrijvingen kunnen een bijdrage leveren aan het concretiseren van de ESD en het beoordelen van positieve en negatieve effecten daarop.

Atlas natuurlijk kapitaal
De uitwerking van deze ESD past ook in de Nederlandse 'Uitvoeringsagenda Natuurlijk Kapitaal' die als doel heeft het behoud en duurzaam gebruik van biodiversiteit (EZ en IenM, 2013). Een onderdeel van deze uitvoeringsagenda betreft de productie van de Atlas Natuurlijk Kapitaal (ANK), de atlas had eerder de werktitel Digitale Atlas Natuurlijk Kapitaal (DANK). ANK is een invulling van actie 5 van de EU-Biodiversiteitsstrategie uit 2012, gericht op het maken van een 'National Ecosystem Assessment' (NEA). Begin 2015 wordt een eerste versie daarvan opgeleverd. In deze interactieve digitale informatiefaciliteit zullen de ecosysteemdiensten van de Nederlandse ecosystemen worden opgenomen. In de factsheets wordt gerefereerd naar relevante te publiceren ANK-kaarten.

1.5 Indeling ESD en internationale ontwikkelingen

1.5.1 Keuze van ESD

Bij de definitie van de 11 ESD in 2013 voor het grondwater en de ondergrond (Broers en Lijzen, 2014) is zoveel mogelijk aangesloten bij de terminologie die voor het compartiment bodem is ontwikkeld (bijvoorbeeld Starink et al., 2012; van der Meulen et al., 2013, Rutgers en Dirven-van Breemen, 2012) en in de internationale context (MEA, 2005; Ranganathan, 2008; Maes et al., 2013 en 2014; CICES, 2013). Aangezien ook nu terminologie in ontwikkeling is zal zo veel mogelijk aangesloten blijven worden bij de CICES definities (zie paragraaf 1.5.3).

In een recent advies van TCB (TCB A095, 2014) wordt als twaalfde ESD benoemd: belevingswaarde. Dit is een waardevolle aanvulling ten opzichte van de lijst die in Broers en Lijzen (2014) wordt gehanteerd en die we gezien de sterke raakvlakken en overlap hebben samengenomen met de ESD ' cultuurhistorische waarden'. Daarmee komen we op onderstaande lijst met ecosysteemdiensten die beschreven zijn in de factsheets die opgenomen zijn in de bijlagen:

Productiediensten

- ESD1. Beschikbaarheid van voldoende water van een bepaalde kwaliteit
- ESD2. Energie

Regulerende diensten

- ESD3. Reinigend vermogen van de ondergrond
- ESD4. Draagkracht
- ESD5. Bergingscapaciteit
- ESD6. Rol in biochemische cycli
- ESD7. Temperatuurregulatie
- ESD8. Voorzien in watervoerendheid en waterkwaliteit oppervlaktewater
- ESD9. Voeding van grondwaterafhankelijke natuur

Culturele diensten

- ESD10. Cultuurhistorische waarden en belevingswaarde (samengevoegd)
- ESD11. Biodiversiteit

1.5.2 *Internationale indeling 'Ecosystem services'*

In 2013 is aangegeven hoe 11 ecosysteemdiensten van het grondwater passen in de indeling die aansluit bij de ontwikkelingen in *Common International Classification of Ecosystem Services* (CICES), waaraan in een werkgroep van de *European Environment Agency* wordt gewerkt. Deze harmonisering dient er toe dat ESD een plek kunnen krijgen in economic acounting systems. Momenteel is versie 4.3 (2013) beschikbaar (www.cices.eu).
Een aantal andere bronnen zijn ook van belang.
In Nederland gaf de TCB (TCB, 2003) een advies over de transitie van het milieubeleid, namelijk van beschermen en herstellen van het milieu, naar een beleid op basis van ESD waar ruimte wordt geboden aan het benutten van de leefomgeving.

De Millennium Ecosystem Assessment (MA 2005: www.millenniumassessment.org) legde een solide basis onder het begrip ESD door vier groepen te onderscheiden; *provisioning*, *regulating*, *cultural* en *supporting* ecosystem services.

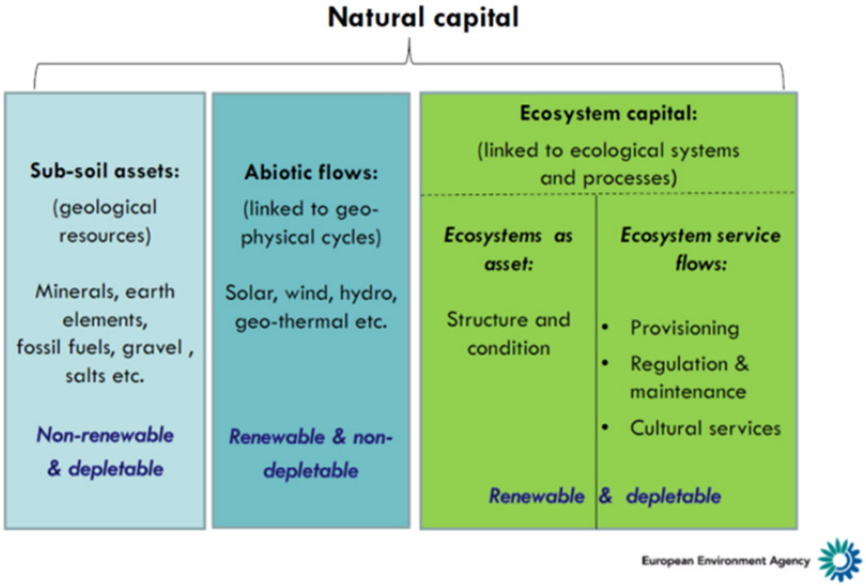
The Economics of Ecosystems and Biodiversity (TEEB, 2010: www.teebweb.org) legde de link tussen sommige ESD en de reële economie. Eén groep ESD werd buiten beschouwing gelaten, namelijk de supporting ecosystem services. Dit heeft tot op heden navolging gekregen, bijvoorbeeld binnen CICES.

Voor het opstellen van de National Ecosystem Assessment (zie 1.4) heeft de EU werkgroep 'Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services' (MAES) de generieke richtlijnen geleverd (http://ec.europa.eu/environment/nature/knowledge/ecosystem_assessment/pdf/MAESWorkingPaper2013.pdf). Het Natuurlijk Kapitaal (NK) bestaat uit vier onderdelen, namelijk het ecologische kapitaal (alle ESD's en het overige ecologische kapitaal), en het abiotische kapitaal (de hernieuwbare en niet-hernieuwbare abiotische bronnen, bijvoorbeeld wind en aardgas).
De in de vorige paragraaf opgenomen ecosysteemdiensten passen in de verschillende methoden en richtlijnen. Op termijn is het echter wel denkbaar dat definities en presentatie van NK en ESD zich internationaal verder ontwikkelen en er andere inzichten ontstaan. Ook kunnen afhankelijk van het doel aanpassingen en preciseringen worden gedaan.

Ook binnen Nederland kan er fysiek vanuit de samenhang tussen water en bodem, en beleidsmatig vanuit behoeften van bestuurslagen en regelingen een behoefte voor een verfijning of aanpassing bestaan.

1.5.3 *Indeling CICES en MAES en nieuwe ontwikkelingen*

In CICES (2013) wordt onderscheid gemaakt tussen een potentiële dienst en een 'finale' ecosysteemdienst. Een finale ecosysteemdienst dient 'geconsumeerd' te worden, bijvoorbeeld 'grondwater van een bepaalde kwaliteit' dat onttrokken wordt, daardoor worden andere gebruiksmogelijkheden beperkt. Een grondwaterlichaam met een bepaalde kwaliteit is zelf dus niet automatisch een echte of 'finale' ESD, maar levert volgens deze terminologie in potentie ecosysteemdiensten. Een grondwaterlichaam met een bepaalde kwaliteit zonder consumptiedoel is ook onderdeel van het Natuurlijk Kapitaal (zie Figuur 1; Maes et al., 2013). De daadwerkelijke benutting nu of in de toekomst, is voor afwegingen vaak minder relevant. Zeker voor de beperkt hernieuwbare ESD.
De afbakening van ecologische en abiotisch kapitaal vonden we voor grondwater en ondergrond vaak niet praktisch, daarom is gekozen voor een werkbaar aantal en herkenbare ecosysteemdiensten.



Figuur 1.De hoofdcomponenten van het Natuurlijk Kapitaal volgens de European Environmental Agency (EEA): ecosysteem kapitaal (ecosysteemdiensten en ecosystemen zelf) en de hernieuwbare en niet-hernieuwbare abiotische componenten. Het grondwatersysteem is niet eenvoudig inpasbaar in een van de hoofdcomponenten van dit schema, want het past in alle drie de componenten. (Bron: Maes et al., 2013)

Het draagvermogen (ESD 4) en de bergingscapaciteit (ESD 5) van bodem en ondergrond worden door CICES (2013) en Maes et al. (2013) niet expliciet als ecosysteemdienst genoemd. In CICES is wel een aanvullende lijst, de zogenaamde 'Accompanying classification of abiotic outputs from natural systems' opgenomen. Ook hier staan deze ESD niet in. Deze ESD zijn van belang voor het Nederlandse bodem- en watersysteem, omdat activiteiten deze diensten worden gebruikt en

elkaar kunnen beïnvloeden. Daarom is gekozen om deze ESD in dit project mee te nemen.

2 Methode van uitwerking ecosysteemdiensten en resultaten

Het doel van het maken van de ESD-beschrijvingen ligt in het geven van inzicht in de ecosysteemdiensten van het grondwater en ondergrond. De kern van de vraagstelling voor de 11 technisch-inhoudelijke beschrijvingen van ecosysteemdiensten (ESD) van grondwater en ondergrond is:

- Welke voorwaarden stelt de ESD om duurzaam geleverd te kunnen worden?
- Hoe kan je bepalen of een activiteit de ESD positief of negatief beïnvloedt?
- Welke maatregelen zijn mogelijk om de ESD te handhaven of positief te stimuleren?

In overleg tussen RIVM en Deltares is bepaald welke aspecten in de beschrijvingen aan de orde moeten komen. Bij de beschrijving van de Ecosysteemdiensten is gekozen voor de volgende indeling.

- Belangrijkste conclusies en aanbevelingen;
- Beschrijving van de ESD;
- Gebruik van de ESD door activiteiten;
- Relaties tussen de ESD, activiteiten en maatregelen, waarbij aandacht is gegeven aan hoe de ecosysteemdienst beïnvloed wordt, hoe maatregelen de ecosysteemdienst kunnen optimaliseren en welke toekomstige trends invloed hebben op de ecosysteemdienst;
- Beschikbare data over de ecosysteemdienst, met name in ANK (Digitale Atlas Natuurlijk Kapitaal, geplande uitgave 2015).

In bijlage 1 t/m 11 staan de 11 beschrijvingen die uitgewerkt zijn volgens de bovenstaande methodiek. De ESD cultuurhistorische waarde en belevingswaarde zijn samengevoegd (ESD10).

Productie-diensten

- ESD1. Beschikbaarheid van voldoende water van een bepaalde kwaliteit (Bijlage 1)
- ESD2. Energie (Bijlage 2)

Regulerende diensten

- ESD3. Reinigend vermogen van de ondergrond (Bijlage 3)
- ESD4. Draagkracht (Bijlage 4)
- ESD5. Bergingscapaciteit (Bijlage 5)
- ESD6. Rol in biochemische cycli (Bijlage 6)
- ESD7. Temperatuurregulatie (Bijlage 7)
- ESD8. Voorzien in watervoerendheid en waterkwaliteit oppervlaktewater (Bijlage 8)
- ESD9. Voeding van grondwaterafhankelijke natuur (Bijlage 9)

Culturele diensten

- ESD10.Cultuurhistorische waarden en belevingswaarde (Bijlage 10)
- ESD11. Biodiversiteit (Bijlage 11).

3 Conclusies en aanbevelingen

De technisch-inhoudelijke beschrijvingen geven een goed beeld van het functioneren van de ESD, de relatie met de activiteiten die gebruik maken van de ESD, en huidige maatregelen die de desbetreffende ESD kunnen optimaliseren.

De complexiteit van het functioneren van de ESD die beschreven zijn in de bijlagen is verschillend per ESD. Sommige ESD zijn complexer dan anderen omdat deze de dienst in verschillende vormen kunnen leveren zoals 'waterzuivering van de ondergrond'. Verschillende fysische, chemische en biologische processen spelen daarin een rol. Gaat het om bijvoorbeeld het denitrificatieproces dat zorgt voor het omzetten van nitraat (nutriënten in de landbouw) naar o.a. stikstof of gaat om de afbraak van organische verontreinigingen door bacteriën of om de reductie van bacteriologische activiteit na bodempassage in het geval van kunstmatige infiltratie voor de drinkwatervoorziening.

Er is een groot verschil in de mate waarin ESD concreet gemaakt kunnen worden. Voor ESD 1 (beschikbaarheid van voldoende water van een bepaalde kwaliteit) zijn bijvoorbeeld veel data en heeft ieder een goed beeld wat de ESD inhoud. ESD 10 culturele diensten, is een verzameling van vele kwalitatieve diensten waarvoor de meetbaarheid afhangt van de specifieke dienst en voor sommige culturele diensten zijn ook minder data beschikbar.

Dit product biedt ons inziens, samen met het rapport 'Afwegingen bij het gebruik van grondwater en de ondergrond, Een verkenning op basis van ecosysteemdiensten' (Broers en Lijzen, 2014) de nodige kennis en handvatten om afwegingen te kunnen maken in een gebied ten aanzien van het grondwater en de ondergrond. De binnen STRONG geplande verder ontwikkeling van afwegingskaders kan van deze kennis en methode gebruik maken.

In een vervolg stap is het wenselijk de bruikbaarheid van de producten en kennis te toetsen bij verschillende stakeholders in Nederland in een case-study waarbij ook de kennis uit de STRONG en ANK meegenomen dient te worden.
Verder wordt aanbevolen aandacht te besteden aan de handelingsperspectieven om de waarde van een ESD in grondwater en ondergrond te behouden of te vergroten, zodat diensten duurzaam geleverd kunnen worden. Dit geldt ook voor het leveren van ESD in bredere zin.

4 Referenties

- Broers en Lijzen, 2014. Afwegingen bij het gebruik van grondwater en de ondergrond. Een verkenning op basis van ecosysteemdiensten. Deltares rapport 1207762-016, RIVM-rapportnr. 607710003/2014.
- CICES (2013) Common International Classification of Ecosystem Services (CICES): Consultation on Version 4, August-December 2012 (Haines-Young R, Potschin M, eds.), EEA Framework Contract No EEA/IEA/09/003 (Download at www.cices.eu or www.nottingham.ac.uk/cem)
- EZ en IenM, 2013.'Uitvoeringsagenda Natuurlijk Kapitaal; behoud en en duurzaam gebruik van biodiversiteit Brief aan Tweede Kamer, DGNR-NB/ 13091035
- Maes J, Teller A, Erhard M, Lquete C, Braat L, Berry P, Egoh B, Puydarrieux P, Fiorina F, Santos F, Paracchini ML, Keune H, Wittmer H, Hauck J, Fiala I, Verburg P, Condé S, Schägner JP, San Miguel J, Estreguil C, Ostermann O, Barredo JI, Pereira HM, Stott A, Laporte V, Meiner A, Olah B, Royo Gelabert E, Spyropoulou R, Petersen JE, Maguire C, Zal N, Achilleos E, Rubin A, Ledoux L, Brown C, Raes C, Jacobs S, Vandewalle M, Connor D, Bidoglio G (2013) Mapping and assessment of ecosystems and their services. An analytical framework for ecosystem assessments under action 5 of the EU biodiversity strategy to 2020. Publications of the European Union, Luxembourg.
- Maes J, Teller A, Erhard M, Murphy P, Paracchini ML, Barredo JI, Grizzetti B, Cardoso A, Somma F, Petersen J, Meiner A, Royo Gelabert E, Zal N, Kristensen P, Bastrup-Birk A, Biala K, Romao C, Piroddi C, Egoh B, Fiorina C, Santos F, Naruševičius V, Verboven J, Pereira H, Bengtsson J, Kremena G, Marta-Pedroso C, Snäll T, Estreguil C, San Miguel J, Braat L, Grêt-Regamey A, Perez-Soba M, Degeorges P, Beaufaron G, Lillebø A, Abdul Malak D, Liquete C, Condé S, Moen J, Östergård H, Czúcz B, Drakou EG, Zulian G, Lavalle C (2014) Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services Indicators for ecosystem assessments under Action 5 of the EU Biodiversity Strategy to 2020. 2nd Report – Final. Publications of the European Union, Luxembourg.
- MEA (2005) Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and human well-being: biodiversity synthesis. Washington, DC: World Resources Institute; 2005.
- Min IenM, 2014. 'Opgaven voor de ondergrond; Probleemstelling van het Programma STRONG, juni 2014 (Min IenM, 2014).
- Ranganathan, J.(2008) Ecosystem services: a guide for decision makers. World Resources Institute [1-56973-669-3]
- Rutgers M, Dirven-Van Breemen L, eds. (2012) Een gezonde bodem onder een duurzame samenleving. Rapport 607406001, RIVM, Bilthoven.
- Starink J, Nuiver H, Keuning S, eds. (2012) Ecosysteemdiensten in de praktijk van duurzaam bodembeheer en gebiedsontwikkeling: De Triple-O aanpak. Met bijdragen van: Oude Boerrichter P, Westerhof R, Rutgers M, Van der Meulen S, Smit A, Breure T, Van Eijsden G, Roghair C, Winkler T. Consortium Ecosysteemdiensten in de praktijk. Bodem+, Agentschap NL, Den Haag.

(http://www.agentschapnl.nl/content/triple-o-aanpak-ontdekken-overeenkomen-ontwikkelen)
- Van der Meulen, S . (2013) Impuls Lokaal Bodembeheer – Ecosysteemdiensten. Hoe kan worden voortgebouwd op de resultaten? Deltares rapportnr 1207762-01.
- TCB (2003) Advies duurzamer bodemgebruik op ecologische grondslag. Advies A33, Technische commissie bodem, Den Haag.

5 Bijlagen

Zie bijlagen 1 t/m 11

Bijlage 1

Ecosysteemdienst 1: Beschikbaarheid van voldoende water met een bepaalde kwaliteit

Inhoud

1. Beschrijving van de Ecosysteemdienst — 24
1.1. Korte definitie — 24
1.2. Beschrijving van het systeem — 24

2. Gebruik van de Ecosysteemdienst — 27

3. Relaties tussen de Ecosysteemdienst, activiteiten en maatregelen — 33
3.1. Hoe wordt de Ecosysteemdienst beïnvloed? — 33
3.2. Maatregelen om de ESD te optimaliseren — 37
3.3. Toekomstige trends die invloed hebben op de ESD — 39

4. Beschikbare data over de ESD — 41

Belangrijkste conclusies en aanbevelingen:

De *beschikbaarheid van voldoende water met een bepaalde kwaliteit* is een producerende ecosysteemdienst die door veel verschillende type activiteiten gebruikt wordt: onttrekkingen, opslag, reserveringen, winning grondstoffen, ruimte beslag, peilbeheer en bovengrondse activiteiten.

De voorwaarden voor een duurzame benutting van de ESD *beschikbaarheid van voldoende water van een bepaalde kwaliteit* is dat het gebruik niet groter is dan de aanvulling van de grondwatervoorraad via infiltratie van regenwater en oppervlaktewater van voldoende kwaliteit. Onder deze voorwaarde is het een hernieuwbare ESD. Voorwaarde voor duurzaam gebruik van de ecosysteemdienst is dat de kwaliteit niet zodanig beïnvloed wordt dat het gebruik van deze en andere gewenste ecosysteemdiensten onmogelijk of bemoeilijkt wordt door een noodzakelijke extra zuivering.

Verreweg de meeste activiteiten zorgen dat ofwel de grondwatervoorraad afneemt ofwel dat de kwaliteit van het grondwater verslechtert. Zo moeten bijvoorbeeld de nationale grondwaterreserves niet aangetast worden door gebruik als irrigatiewater of door vervuiling bij toepassing van meststoffen en gewasbeschermingsmiddelen aan het oppervlak. Kennis over deze ecosysteemdienst is daarom essentieel om een goede afweging tussen activiteiten te kunnen maken en de effecten van activiteiten op de ESD in te kunnen schatten.

Toekomstige ontwikkelingen zoals klimaatverandering en bodemdaling kunnen leiden tot toenemende zoutindringing vanuit zee en zoute kwel. Hierbij zal het aanbod van de ESD afnemen. De verwachting is dat de druk op de ondergrond, en daarmee de vraag naar de ESD, steeds verder toeneemt door demografische en sociaal-economische ontwikkelingen. Voor de landbouw is het moeilijk te voorspellen hoe de arealen van de verschillende teelten zich zullen ontwikkelen. Afhankelijk van deze ontwikkeling zal de vraag naar de ESD toenemen door intensivering of afnemen door verduurzaming van de landbouw.

Maatregelen die genomen kunnen worden om de ESD duurzaam te kunnen gebruiken zijn grondwateraanvulling, verbetering van de kwaliteit van het grondwater en het kiezen voor de juiste kwaliteit voor een bepaalde functie (geen water met betere kwaliteit dan voor een bepaalde functie nodig is).

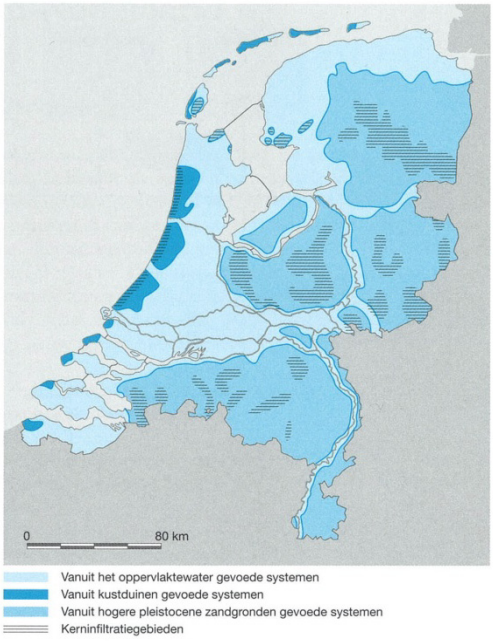
1 Beschrijving van de Ecosysteemdienst

1.1 Korte definitie

De beschikbaarheid van voldoende water met een bepaalde kwaliteit is een producerende ecosysteemdienst volgens de CICES (2013) indeling2. Grondwater is een bron van water voor diverse vormen van gebruik, zoals drinkwater, proceswater en irrigatiewater. Doordat grondwater onder onverstoorde omstandigheden vaak een stabiele samenstelling en temperatuur heeft, is het een betrouwbare bron. Deze ecosysteemdienst vraagt een chemische, biologische en fysische (bijvoorbeeld temperatuur) kwaliteit die voldoet aan de eisen die aan een bepaald gebruik gesteld worden.

1.2 Beschrijving van het systeem

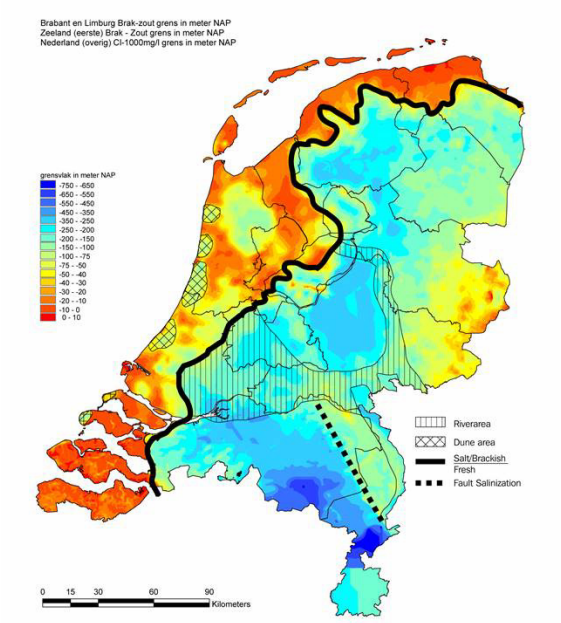
Grondwater is meestal afkomstig van neerslag, dat, nadat het op het aardoppervlak terecht is gekomen, direct of indirect (via meren, rivieren, gletsjers, e.d.) infiltreert in de bodem. Het te winnen grondwater bevindt zich in de ondergrond in watervoerende lagen (aquifers). Deze aquifers worden van elkaar gescheiden door scheidende lagen (aquitards).
In Figuur 1 staat de verdeling van Nederland weergegeven in gebieden waar vooral neerslag het grondwater voedt en de gebieden waar zowel neerslag als oppervlaktewater het grondwater aanvullen (Dufour, 1998).



Figuur 1: Voeding van het grondwater (uit Dufour, 1998: naar Stuurman, 1990).

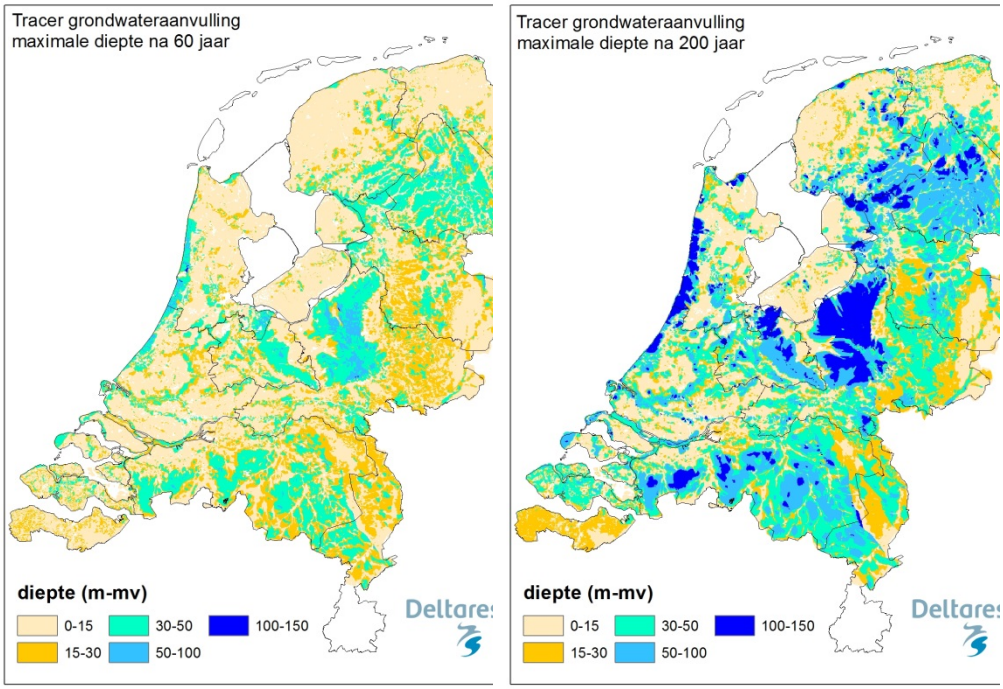
[2] CICES V4.3 (http://cices.eu/). Deze ESD valt onder Sectie: Provisioning, Divisie: Nutrition and Materials

Het grondwater in de aquifers kan opgepompt worden en gebruikt worden voor allerlei soorten activiteiten. Het grondwater is in meer of mindere mate geschikt om als hulpbron te gebruiken aangezien de dikte van de aquifers, en hiermee het grondwatervolume, in de ruimte varieert. Daarnaast is het grondwater ook niet overal van de juiste kwaliteit om voor een bepaalde activiteit gebruikt te kunnen worden. Zo is er variatie in de ruimte in de chemische, biologische en fysische (bijvoorbeeld temperatuur) eigenschappen van het grondwater (zie als voorbeeld figuur 2 voor de diepteligging van het brak-zout grensvlak met de grens tussen het 'zoete' en brakzoute gebied). Daarnaast kunnen deze eigenschappen van het grondwater ook variëren in de tijd; veelal veroorzaakt door menselijke activiteiten.
Afhankelijk van de hoeveelheid aanwezige grondwater en de kwaliteitseisen die voor een bepaalde activiteit vereist zijn, kan het grondwater direct, na zuivering of helemaal niet gebruikt worden.



Figuur 2: Diepteligging brak-zout grensvlak met de grens tussen het 'zoete' en brakzoute gebied (Stuurman et al., 2006).

Het grondwater kan tienduizenden jaren oud zijn en niet beïnvloed door menselijk handelen. Echter, in een groot deel van Nederland vindt er infiltratie plaats van door de mens beïnvloed (verontreinigd) water. De ruimtelijke beïnvloeding van het grondwater op regionale schaal is sterk afhankelijk van de geohydrologische situatie. In Figuur 3 is de diepte weergegeven tot waar het in de afgelopen 60 (links) en 200 (rechts) jaar geïnfiltreerde water in de Nederlandse ondergrond is doorgedrongen. Met name in infiltratiegebieden op de hoge zandgronden kan de ondergrond in 200 jaar tot meer dan 100 meter diepte zijn beïnvloed door menselijke activiteiten aan het oppervlak. In dit water kunnen bijvoorbeeld meststoffen, bestrijdingsmiddelen of specifieke verontreinigingen aanwezig zijn. Door de horizontale stroming van grondwater, zal het beïnvloede grondwater niet alleen verticaal maar ook horizontaal verspreiden in de ruimte, waardoor er verontreinigingspluimen kunnen ontstaan.



Figuur 3: Potentiële doordringingsdiepte (m onder maaiveld) van diffuse verontreinigingen uit de laatste 60 (links) en 200 (rechts) jaar op basis van NHI (van de Grift, 2013). Voor Zuid-Limburg zijn geen NHI berekeningen beschikbaar.

De kwaliteit van het grondwater verschilt van nature in de verschillende regio' s in Nederland. In de Kaderrichtlijn Water zijn grondwaterlichamen onderscheiden. Voor de verschillende grondwaterlichamen zijn drempelwaarden vastgesteld voor een aantal stoffen waaronder sprake is van een goede chemische kwaliteit. Voor het vaststellen van deze waarden zijn ook achtergrondconcentraties bepaald (De Nijs et al., 2011). Ook vanuit het Landelijk Meetnet Grondwaterkwaliteit is er kennis over de huidige kwaliteit van grondwater (Van Vliet et al., 2012). De streefwaarden grondwater zijn ook een maat voor goede kwaliteit van het grondwater. De interventiewaarden grondwater zijn een trigger voor de grondwaterkwaliteit waarboven nagegaan moet worden of er spoed is voor sanering van het grondwater (IenM, 2013).

De voorwaarden voor een duurzame benutting van de ESD *beschikbaarheid van voldoende water van een bepaalde kwaliteit* is dat het gebruik niet groter is dan de aanvulling van de grondwatervoorraad via infiltratie van regenwater en oppervlaktewater van voldoende kwaliteit. Onder deze voorwaarde is het een hernieuwbare ESD. Indien er meer wordt onttrokken dan aangevuld, kan dit leiden tot verdroging.

Voorwaarde voor duurzaam gebruik van de ecosysteemdienst is dat de kwaliteit niet zodanig beïnvloed wordt dat het gebruik van deze en andere gewenste ecosysteemdiensten onmogelijk of bemoeilijkt wordt door een noodzakelijke extra zuivering.

2 Gebruik van de Ecosysteemdienst

Een overzicht van de activiteiten die gebruik maken van de ecosysteemdienst beschikbaarheid voldoende water van een bepaalde kwaliteit *(ESD1) staat weergegeven in tabel 1.*

Tabel 1: Relatie tussen de ecosysteemdienst 'beschikbaarheid voldoende water van een bepaalde kwaliteit' en de activiteiten (uit Broers en Lijzen, 2014). J = activiteit maakt gebruik van de ecosysteemdienst, N = activiteit maakt geen gebruik van de ecosysteemdienst.

Activiteit	**Specifieke activiteit**	ESD
Onttrekkingen	Drinkwater	J
	Irrigatie uit grondwater	J
	Proceswater	J
	Koelwater	J
	Bouwactiveiten	N
	Beheer, sanering grondwaterverontreinigingen	N
Opslag	Opslag van regenwater voor proceswater	N
	Warmte en koude opslag	N
	Berging van (verontreinigd) sediment of afvalstoffen in zandwinputten	N
	Opslag radio-actief afval	N
	CO_2-opslag	N
	Onttrekken grondwater i.c.m. brijnlozingen	J
	Kunstmatige infiltratie voor drinkwaterproductie (ASR)	J
Reserveringen	Bewaren van biodiversiteit/habitat van de ondergrond	N
	Bewaren van cultuurhistorische en archeologische waarden	N
	Reservering strategische grondwatervoorraden	J
Winning grondstoffen	Grind, zand en klei	N
	Zoutwinning	N
	Schaliegaswinning (incl. gebruik grondwater als proceswater)	J
	Olie- en gaswinning	N
	Geothermie	J
Ruimte beslag	Ondergrondse infrastructuur	N
	in-situ saneringen	N
Peilbeheer	Peilbeheer laag Nederland	N
	Peilbeheer hoog Nederland	J
Bovengrondse activiteiten	Beheer terrestrische/aquatische ecosystemen	J
	Recreatie (sportvisserij, zwemwater, natuurbeleving, thermae2000)	J
	Bodemafdichting	N
	Toepassen van meststoffen en bestrijdingsmiddelen	N
	Diffuse bodembelasting stedelijk gebied	N

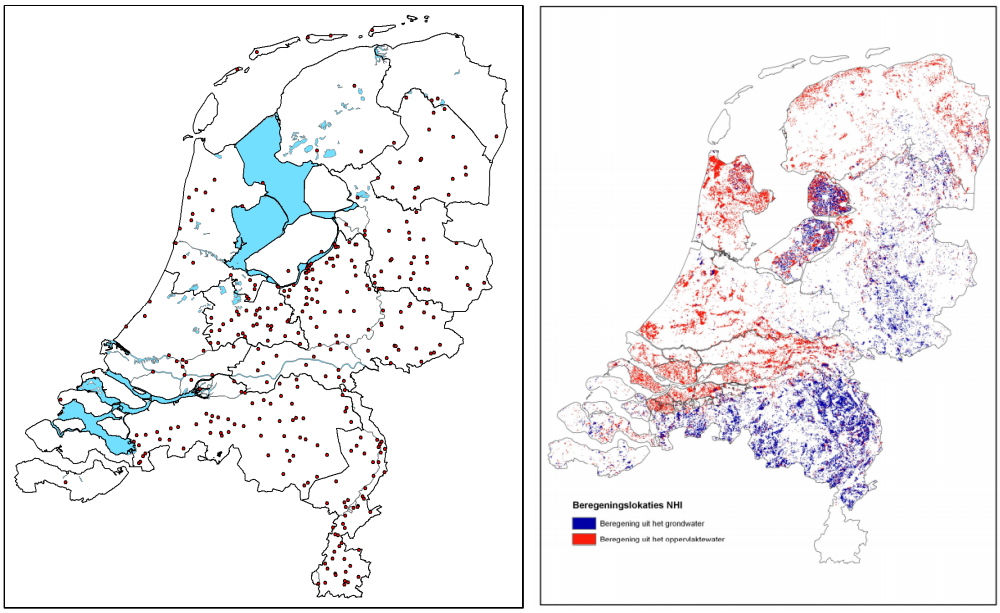
Hieronder volgt een korte beschrijving van de verschillende activiteiten die gebruik maken van de ecosysteemdienst *beschikbaarheid voldoende water van een bepaalde kwaliteit* (aangemerkt met een "J" en blauw gearceerd in tabel 1) op basis van de publicatie van Broers en Lijzen (2014). Voor een uitgebreidere beschrijving van de activiteiten wordt naar deze publicatie verwezen.

Onttrekkingen:

- De beschikbaarheid van voldoende water met een bepaalde kwaliteit is de basisvoorwaarde voor het gebruik van grondwater als bron voor drinkwater. Grondwater wordt sinds ongeveer 100

jaar gebruikt als bron voor drinkwater. Circa 60 % van het drinkwater in Nederland wordt bereid uit grondwater. Vooral in midden- en oost-Nederland wordt drinkwater geproduceerd uit grondwater (zie figuur 4, links). Er zijn ruim 200 grondwaterwinningen in Nederland. Dit betreffen winningen voor de openbare drinkwatervoorzieningen. Industriële winningen en 'eigen winningen' (winningen in eigen beheer die drinkwater aan derden ter beschikking stellen) zijn hierin niet meegerekend. De capaciteit per winning varieert tussen 0,5 en 10 mln.m^3/jaar. Jaarlijks wordt in totaal ongeveer 700 mln.m^3/jaar onttrokken. Deze hoeveelheid was in de afgelopen jaren vrij constant. Na zuivering moet de kwaliteit aan de tap voldoen aan de normen in de Drinkwaterwet (IenM, 2011).

- Onttrekking van grondwater ten behoeve van beregening vindt voornamelijk plaats in perioden met een neerslagtekort. Het percentage grondwater varieert tussen ca. 65 en 80% voor respectievelijk droge en natte jaren (Hoogeveen et al., 2003) en is in de meeste gevallen afhankelijk van de hoeveelheid beschikbaar oppervlaktewater. Voor beregening uit grondwater is het van belang dat voldoende grondwater op beperkte diepte aanwezig is. De hoeveelheid onttrekking voor beregening vindt weliswaar plaats in een korte periode in het jaar, maar de totaal onttrokken hoeveelheid evenaart of overtreft in deze periode in veel gebieden die van de permanente industriële en drinkwaterwinningen (De Louw, 2008; Kuijper et al., 2012). In Figuur 4 (rechts) is een overzicht gegeven van locaties met beregeningsinstallaties in Nederland. Te zien is dat er veel beregening uit het grondwater kan plaatsvinden op de hoge zandgronden in Brabant en Noord-Limburg.
- Industrieel proceswater heeft meerdere toepassingen, zoals koelvloeistof, procesmiddel, oplosmiddel of vervoermiddel. Vanwege strenge overheidseisen met betrekking tot het gebruik van grondwater komt slechts een klein gedeelte van het proceswater uit de grond (<10%) (zie figuur 4, links). Dit water moet vaak nog gezuiverd worden op mangaan- en ijzerverbindingen (info o.a. van de website http://www.watervragen.nl/proceswater).
  De verschillende toepassingen stellen verschillende kwaliteitseisen aan het water. Zo heeft koelwater als voornaamste eis dat het een niet te hoge begintemperatuur mag hebben.
- De activiteit 'onttrekken grondwater i.c.m. brijnlozingen' omvat zowel onttrekkingen als lozingen. Deze activiteit wordt besproken onder 'opslag'.



Figuur 4: Links: Grondwateronttrekkingen (drinkwater- en industriële onttrekkingen). Rechts: Plekken waar bestaande beregeningsinstallaties de irrigatie van landbouwgewassen uit grondwater respectievelijk oppervlaktewater mogelijk maakt (Klijn et al., 2011, p. 36).

Opslag:

- In de glastuinbouw kan in droge perioden gebruik gemaakt worden van grondwater als extra bron van gietwater. Hiervoor kan brak water worden gebruikt door met omgekeerde osmose membranen zoet permeaat te winnen. Zouten en andere stoffen blijven achter in het oorspronkelijke brakke water, dat sterk geconcentreerd wordt. Dit water (brijn) wordt geïnjecteerd in een dieper watervoerend pakket dan waaruit het grondwater onttrokken is. Bij de activiteit 'brijnlozingen' wordt zowel grondwater onttrokken als grondwater geïnjecteerd. Beide activiteiten vinden echter plaats in verschillende lagen in de ondergrond.
- Ondergrondse waterberging (Engels: aquifer storage and recovery (ASR)) wordt gedefinieerd als "het infiltreren van water in ondergrondse watervoerende lagen ('aquifers') in perioden van wateroverschot met als doel dit te onttrekken in perioden van droogte" (website Deltaproof). Deze activiteit maakt geen gebruik van de bepaalde kwaliteit van het grondwater, maar is een maatregel om water van een bepaalde kwaliteit op te slaan.

Reserveringen:

- In aanvulling op de huidige drinkwaterwinningen met bijbehorende milieubeschermingsgebieden, hebben enkele provincies gebieden aangewezen die zij naar de toekomst toe strategisch belangrijk vinden voor de openbare drinkwatervoorziening (Reservering van strategische grondwatervoorraden voor drinkwater (Van der Aa et al., 2015)). Het betreft gebieden waar nog geen winlocaties zijn bepaald en dus ook geen vergunningen voor drinkwateronttrekking zijn verleend. De status van deze gebieden verschilt. In sommige

provincies betreft het milieubeschermingsgebieden zoals boringsvrije zones. In andere provincies zijn de gebieden vastgelegd in provinciale plannen zoals omgevingsplan of waterplan. Deze voorraden zijn bedoeld voor de opvang van een eventuele toename in de drinkwaterbehoefte in de toekomst.
- Naast de reserveringen die op provinciaal niveau gedaan zijn, worden ook reserveringen op nationaal niveau gedaan. Deze voorraden zijn bedoeld voor de opvang van een toename in de behoefte, pieken, incidenten (uitval winning) of calamiteiten op de korte en middellange termijn. In geval van bovenregionale grondwatervoorraden vindt afweging en aanwijzing plaats in de Structuurvisie Ondergrond. Dat betekent dat in de structuurvisie ruimtelijke reserveringen voor drinkwatervoorziening afgewogen wordt tegen andere nationale belangen (Broers et al., 2014; Opgaven voor de Ondergrond, Probleemstelling STRONG).

Winning grondstoffen:
- Schaliegaswinning betreft de winning van aardgas uit slechtdoorlatende schalies. Bij het boren van een put en bij het fracken van een horizontale put is water nodig. Meestal wordt gewerkt met gezuiverd water waaraan allerlei chemicaliën worden toegevoegd. Het retourwater heeft een slechtere kwaliteit dan het geïnjecteerde water omdat het verontreinigd raakt met olieachtige stoffen als benzeen, zout en mogelijk zware metalen als kwik of radioactieve elementen als radium-226. Dit retourwater moet dus gezuiverd worden voordat het terug het milieu in kan. Onder bepaalde condities kan productiewater bij conventionele winning geherinjecteerd worden op diepte; voor schaliegaswinning bestaat hiervoor nog geen regelgeving in Nederland.
- Het warme grondwater is een potentiële bron van duurzame energie (geothermie). Om deze energie te kunnen winnen moet er aan de volgende voorwaarden voldaan worden: een temperatuur van meer dan 45 °C, een voldoende doorlatende ondergrond (meer dan 100 m^3 water per uur) en een waterhoudende laag van meer dan 30 meter dikte. Aquifers die aan deze eisen voldoen komen vooral voor in Noord- en Zuid-Holland, Noord-Brabant en in het noorden en oosten van Nederland. De winning van aardwarmte gebeurt door heet water omhoog te pompen en afgekoeld water in de grond te injecteren (Leenaers, 2009).

Peilbeheer:
- Peilbeheer van het oppervlaktewater, zowel in hoog als laag Nederland, kan grote invloed hebben op de hoeveelheden grondwater en indirect ook op de kwaliteit van het grondwater, met name door de uit- en afspoeling van meststoffen en bestrijdingsmiddelen vanuit de landbouw. Daarnaast is de aanvoer van grondwater in hoog Nederland ook van belang om bepaalde peilen te kunnen handhaven.

Bovengrondse activiteiten:

- Kwelafhankelijke natuur, de duinen en aquatische ecosystemen stellen specifieke eisen aan het grondwatersysteem, zoals voldoende hoge grondwaterstanden met specifieke dynamiek en voldoende kweldruk van basenrijk grondwater dat niet verontreinigd is. Voor een uitgebreidere beschrijving van de activiteit beheer van terrestrische/aquatische ecosystemen wordt verwezen naar de beschrijving van de ESD *Voeding van grondwaterafhankelijke natuur*.
- Recreatie (sportvisserij, zwemwater, natuurbeleving, Thermae2000) is vaak mogelijk doordat schoon grondwater bijdraagt aan een goede oppervlaktewaterkwaliteit of dat grondwater wordt opgepompt voor gebruik in een recreatieve inrichting. De kwaliteit ten aanzien van nutriënten is daarbij vaak een belangrijke factor. Voor een uitgebreidere beschrijving van de activiteit *recreatie* wordt verwezen naar de beschrijving van de ESD *belevingswaarde*.

3 Relaties tussen de Ecosysteemdienst, activiteiten en maatregelen

3.1 Hoe wordt de Ecosysteemdienst beïnvloed?

Een overzicht van de beïnvloeding van de ESD *beschikbaarheid van voldoende water van een bepaalde kwaliteit* door verschillende activiteiten staat weergegeven in tabel 2. De invloed van de verschillende activiteiten op de ESD wordt in onderstaande tekst besproken per hoofdactiviteit.

Tabel 2: Beïnvloeding van ecosysteemdiensten door de activiteiten in de boven- en ondergrond.
+ = positieve invloed van activiteit op het in stand houden of vergroten van de ESD
- = negatieve invloed van activiteit op ESD (vermindering dienst)
+/- = zowel positieve als negatieve invloed mogelijk, afhankelijk van tijdsschaal of invalshoek
O = geen positieve en/of negatieve invloed van de activiteit
?= onbekend
(?) achter een ander teken zoals een +(?) dan is het effect onzeker.

Activiteit	**Specifieke activiteit**	ESD
Onttrekkingen	Drinkwater	-
	Irrigatie uit grondwater	-
	Proceswater	-
	Koelwater	-
	Bouwactiveiten	-
	Onttrekking tbv beheer en saneringen grondwaterverontreinigingen	-
Opslag	Opslag van regenwater voor proceswater	-
	Warmte en koude opslag	-
	Berging van (verontreinigd) sediment of afvalstoffen in zandwinputten	-
	Opslag radio-actief afval	o/?
	CO2-opslag	?
	Brijnlozingen	-
	Kunstmatige infiltratie voor drinkwaterproductie (ASR)	+/-
Reserveringen	Bewaren van biodiversiteit/habitat van de ondergrond	o
	Bewaren van cultuurhistorische en archeologische waarden	o
	Reservering strategische grondwatervoorraden	+
Winning grondstoffen	Grind, zand en klei	-
	Bruinkoolwinning Naar Duits voorbeeld	-
	Zoutwinning	o
	Schaliegaswinning (incl. gebruik grondwater als proceswater)	-
	Olie- en gaswinning	o
	Geothermie	o
Ruimtebeslag	Ondergrondse infrastructuur	o
	aanpak grondwaterverontreiniging, incl. in-situ saneringen	+/-
Peilbeheer	Peilbeheer laag Nederland	+/-
	Peilbeheer hoog Nederland	+/-
Bovengrondse activiteiten	Beheer terrestrische/aquatische ecosystemen	+
	Recreatie (sportvisserij, natuurbeleving, thermae2000)	o
	Bodemafdichting	-
	Toepassen van meststoffen en bestrijdingsmiddelen	-
	Diffuse bodembelasting stedelijk gebied	-

Onttrekkingen
De ESD *beschikbaarheid van voldoende water van een bepaalde kwaliteit* wordt in kwantitatieve zin negatief beïnvloed door de verschillende soorten onttrekkingen (drinkwater, irrigatie uit grondwater, proceswater, koelwater, onttrekkingen t.b.v. gietwater voor de glastuinbouw, bouwactiviteiten, onttrekkingen t.b.v. beheer en saneringen grondwaterverontreinigingen). Door onttrekkingen neemt de grondwatervoorraad af, waardoor de beschikbaarheid van grondwater voor de verschillende activiteiten en andere ecosysteemdiensten afneemt. Niet alleen de hoeveelheid grondwater neemt af door onttrekkingen, maar ook de kwaliteit van het grondwater kan door verschillende oorzaken negatief beïnvloed worden. Eén van de redenen waardoor de kwaliteit kan verslechteren is dat door het onttrekken van grondwater verontreinigingen in het intrekgebied zich kunnen verspreiden in de richting van de winning. Een andere oorzaak voor kwaliteitsverslechtering van het grondwater is dat als gevolg van grondwateronttrekking zout water uit diepere watervoerende pakketten aangetrokken kan worden (upconing). De verzilting die dit tot gevolg heeft vormt een belangrijke reden om winningen te verplaatsen of te beëindigen. Een derde oorzaak voor kwaliteitsverslechtering is dat bij het slaan van een put voor onttrekkingen afsluitende lagen mogelijk doorboord worden, waardoor verontreinigd ondiep grondwater mogelijk in aanraking komt met schoon dieper grondwater. De onttrekking van grondwater, bijvoorbeeld voor beregening, blijkt tot waterkwaliteitsveranderingen en het opgebruiken van reactiecapaciteit te leiden, zoals veranderingen van de pH en toenames van de concentratie arseen in grondwater (Morera 2011, Broers & Griffioen 2012). Ook is bekend dat onttrekkingen leiden tot het sneller naar beneden trekken van verontreinigingen en tot kwaliteitsveranderingen (Moran, 2011).
De kwaliteit van het water waarmee aquifers nu worden aangevuld is van beduidend mindere kwaliteit dan in het (lange) verleden, waardoor de voorraad beschikbaar water met hoge kwaliteit netto afneemt.

Opslag
De verschillende activiteiten die onder 'opslag' vallen beïnvloeden de ESD voornamelijk negatief, maar een enkele keer ook positief. De verschillende soorten opslag (regenwater, WKO, (verontreinigd) sediment of afvalstoffen, radio-actief afval, CO2 en brijn) hebben een negatieve invloed op de kwaliteit van het grondwater aangezien hetgeen wordt opgeslagen veelal van slechtere kwaliteit is dan het grondwater waarin het wordt opgeslagen of een negatieve invloed heeft op het grondwater waarin het wordt opgeslagen. Daarnaast kan opslag ook menging van verschillende watertypen veroorzaken en verandering in de grondwaterstroming teweeg brengen.

In onderstaande twee alinea's worden als voorbeeld de activiteiten 'onttrekken grondwater i.c.m. brijnlozingen' en 'kunstmatige infiltratie' nader toegelicht.
Door het onttrekken van grondwater uit de ondergrond t.b.v. de gietwatervoorziening neemt de beschikbaarheid van water voor andere activiteiten die van deze dienst gebruik maken af. Daarnaast zal door het lozen van brijn in de desbetreffende aquifer de hoeveelheid water juist toenemen, maar wordt de kwaliteit van dit water mogelijk negatief

beïnvloed. Om te voorkomen dat het geïnjecteerde brijn terug kan stromen naar de aquifer waaruit het oorspronkelijk onttrokken was, moet het in een andere aquifer geïnfiltreerd worden en moet er een scheidende laag aanwezig zijn tussen beide aquifers. Tevens dient de aquifer waaruit onttrokken wordt met een voldoende dikke scheidende laag van het maaiveld te zijn afgesloten. Indien deze scheidende lagen niet aanwezig zijn, kan onttrekking van grondwater i.c.m. brijnlozing door upconing van zouter water een negatief effect hebben op de ESD.

De enige opslagactiviteit die, naast een negatieve, ook een positieve invloed kan hebben op de ESD is kunstmatige infiltratie. Door duin- en oeverinfiltratie neemt de hoeveelheid beschikbaar grondwater toe. Ook bij ASR ten behoeve van de glastuinbouw neemt de hoeveelheid beschikbaar grondwater toe. Een negatieve invloed op de ESD is echter niet uit te sluiten aangezien het te infiltreren water mogelijk van slechtere kwaliteit is dan het pakket waar het in geïnfiltreerd wordt. Vooral zwevende stof deeltjes, waaraan zich ook het merendeel van de verontreinigingen hecht, dienen voordat injectie plaatsvindt verwijderd te worden (informatie website Deltaproof).

Reserveringen
De reservering van strategische grondwatervoorraden heeft een positieve invloed op de ESD aangezien dit grondwater niet gebruikt zal worden voor andere activiteiten (het sluit andere activiteiten uit) en dus beschikbaar blijft voor de toekomst. Daarnaast kunnen andere activiteiten de kwaliteit van dit grondwater niet negatief beïnvloeden.

Winning grondstoffen
Bij de winning van grind, zand en klei vindt er verstoring van de ondergrond plaats door afgravingen en grondwateronttrekkingen. Dit verstoort de grondwaterstromingen en kan hiermee een negatieve invloed hebben op de beschikbaarheid van water. Zo heeft de grootschalige winning van bruinkool in Duitsland, nabij de Nederlandse grens, ook invloed op de grondwaterstroming in Nederland door de grote hoeveelheden grondwater die hierbij onttrokken worden.

Bij schaliegaswinning bestaan risico’s dat grondwater verontreinigd wordt door ondergrondse lekkage of morsen aan maaiveld van de frac-vloeistof dan wel het retourwater of het productiewater. Ondergrondse lekkage kan optreden als de casing van een put niet goed functioneert of meer algemeen de putintegriteit niet deugt. Verder is er risico dat er spills optreden aan maaiveld die het grondwater bereiken. Ook zou vervuiling kunnen ontstaan door migratie van vloeistof of methaan via andere, (verlaten) lekkende putten dan wel diffuus door de geologische formaties heen (microseepage). De potentiële risico’s hiertoe hangen af van de verticale afstand tussen de schaliegaslaag en de watervoerende pakketten, de natuurlijke hydraulische drukken en de drukken die worden toegepast tijdens het fracken, de permeabiliteit- en porositeiteigenschappen van de geologische eenheden en de geohydrologische eigenschappen van eventueel aanwezige breuken (Broers en Lijzen, 2014).

Ruimtebeslag
De aanpak van grondwaterverontreinigingen, inclusief in-situ saneringen, kan zowel positieve als negatieve invloed hebben op de ESD. Door een grondwaterverontreiniging te saneren wordt de beschikbaarheid van voldoende water met bepaalde kwaliteit groter. Afhankelijk van het niveau tot waar is terug-gesaneerd, kan worden bepaald voor welke functie het grondwater na sanering geschikt is. Als een sanering bestaat uit uitsluitend beheren of monitoren van een verontreinigd gebied wordt de beschikbaarheid van voldoende water met bepaalde kwaliteit niet verbeterd en mogelijk verslechterd door verdere verspreiding. Het verontreinigde grondwater is dan ongeschikt voor veel functies.

Peilbeheer
Bij de ontwatering van (diepere) polders wordt overtollig regen- en kwelwater afgevoerd naar rivieren en het boezemsysteem. Door o.a. uitspoeling van meststoffen (en bestrijdingsmiddelen) vanuit de landbouw en afstroming uit bovenstroomse gebieden is dit water rijk aan nutriënten. Met dit oppervlaktewater worden hoger gelegen gebieden, zoals niet ontveende polders en de gebieden aan de rand van de duinen, voorzien van water. Zowel vanuit de rivieren en boezemwateren als vanuit de hoger gelegen polders infiltreert dit oppervlaktewater deels weer naar het grondwater. Daarnaast kan in bepaalde gebieden gebiedsvreemd water ingelaten worden om verdroging te voorkomen, wat ook deels kan infiltreren naar het grondwater. Door de uit- en afspoeling van meststoffen en bestrijdingsmiddelen vanuit de landbouw kan dit geïnfiltreerde water verontreinigd zijn (Broers en Lijzen, 2014).

Bovengrondse activiteiten
Er zijn uiteenlopende bovengrondse activiteiten die een verschillende invloed op de ESD uitoefenen.
Het beheer van terrestrische en aquatische ecosystemen heeft een positieve invloed op de ESD. Het landgebruik van uitgestrekte bos- en heidegebieden op de hogere zandgronden zonder slotenstelsel en drainage zijn nog de enige plekken in Nederland waar het volledige neerslagoverschot naar het grondwater kan infiltreren, en daarmee zijn het de belangrijkste aanvullingsgebieden voor het diepere grondwater. Ook vanuit natte natuur en overstromende natuur vindt inzijging plaats van oppervlaktewater.

De activiteiten bodemafdichting, het toepassen van meststoffen en bestrijdingsmiddelen en de diffuse bodembelasting vanuit stedelijk gebied hebben allemaal een negatieve invloed op de ESD. Door de steeds verdergaande bodemafdichting van het oppervlak kan er minder water in de bodem infiltreren. Hierdoor neemt de kwantiteit van de grondwatervoorraad af. De kwaliteit van het grondwater verslechterd door het toepassen van meststoffen en bestrijdingsmiddelen, waardoor de ESD afneemt voor activiteiten die van deze dienst gebruik maken. Eén van de gevolgen hiervan is dat veel ondiepe winputten en zelfs hele winvelden worden gesloten (Mendizabal, 2011) en dat drinkwaterwinningen naar diepere pakketten worden verplaatst, buiten de huidige omvang van het beïnvloede water. Sluiting van winputten is overigens meestal het indirecte gevolg van mestgebruik (nitraat,

hardheid, metalen en arseen) en niet zozeer van bestrijdingsmiddelengebruik (Broers en Lijzen, 2014).
Via diffuse bodembelasting vanuit stedelijk gebied kunnen allerlei soorten stoffen in het grondwater terecht komen (zoals metalen, nutriënten, geneesmiddelen, PAK's, cosmetica, weekmakers, etc.), dit kan direct door infiltratie of afspoeling van verhard oppervlak, maar ook indirect via het riool en de rioolwaterzuiveringsinstallatie. Als deze stoffen in het milieu terecht komen, neemt de waarde van deze ESD af.

3.2 Maatregelen om de ESD te optimaliseren

3.2.1 Wet- en regelgeving

Vanaf 2000 zijn de Kaderrichtlijn Water (2000/60/EG) en de Grondwaterrichtlijn (2006/118/EG) van toepassing op de bescherming van waterlichamen voor menselijke consumptie. Drinkwater wordt gereguleerd middels de Europese Drinkwaterrichtlijn (98/83/EG). Deze is in Nederland geïmplementeerd in de Drinkwaterwet, het Drinkwaterbesluit en de Drinkwaterregeling. In de Kaderrichtlijn Water (artikel 4) staat beschreven dat lidstaten maatregelen moeten nemen om de inbreng van verontreinigende stoffen in het grondwater te voorkomen of te beperken en de achteruitgang van de toestand van alle grondwaterlichamen te voorkomen. Daarnaast moeten ze zorgen voor een evenwicht tussen onttrekking en aanvulling van grondwater. Specifiek voor drinkwaterwinningen is opgenomen dat lidstaten moeten zorgen voor de nodige bescherming van de waterlichamen om het niveau van zuivering dat voor de productie van drinkwater is vereist, te verlagen (artikel 7). De huidige toestand, de doelstellingen voor de toekomst en de voorgenomen maatregelen worden vastgesteld in Stroomgebiedbeheerplannen. Voor meer informatie over de KRW en aanverwante onderwerpen wordt verwezen naar de website van de Helpdesk Water.

De provincies stellen, samen met gemeenten, waterschappen en drinkwaterbedrijven, gebiedsdossiers op voor de drinkwaterwinningen (websites verschillende provincies, Wuijts et al., 2014). Dit betreft voornamelijk informatie over de kwaliteit van het (grond)water waar drinkwater van wordt gemaakt en informatie over bronnen van verontreinigingen en de kwetsbaarheid van het watersysteem. In een gebiedsdossier worden de aanwezige verontreinigingen vertaald naar risico's voor de drinkwaterwinning. Op basis van de gebiedsdossiers worden maatregelen opgesteld om de grondwater- en oppervlaktewaterkwaliteit te beschermen.

In de Circulaire bodemsanering (IenM, 2013) staat beschreven hoe bepaald moet worden of er sprake is van een ernstige grondwaterverontreiniging die met spoed moet worden aangepakt. Dit kan verdere aantasting van schoon grondwater door verspreiding voorkomen. In de Circulaire bodemsanering wordt ook de mogelijkheid geboden om via gebiedsgericht grondwaterbeheer tot een beheersing en kwaliteitsverbetering te komen wanneer sprake is van meerdere gevallen.

Eén van de subdoelen van de Beleidsnota Drinkwater (IenM, 2014) is het aanwijzen en beschermen van nationale grondwaterreserves ten

behoeve van nationale veiligheid. Het Ministerie van IenM inventariseert voor deze maatregel momenteel potentiële voorraden van zoet grondwater van hoge kwaliteit in Nederland die ingezet kunnen worden in het geval van nationale calamiteiten (Nationale Grondwater Reserves). Deze informatie kan worden gebruikt voor de nadere uitwerking van onder meer de Beleidsnota Drinkwater, de Beleidsvisie grondwater en de Structuurvisie Ondergrond (STRONG), waaronder ook de aanstaande PLanMER STRONG. In het kader van dit project zijn door Deltares grondwatervoorraden aangewezen die onder het huidige stromingsregime voor zeker 100 tot 250 jaar gevrijwaard blijven van menselijke invloed (Broers et al., 2014). Het RIVM voert een studie uit naar de verwachte ontwikkeling van de drinkwaterbehoefte en de beschikbaarheid tot 2040 (Van der Aa et al., 2015). Daarbij is in beeld gebracht wat de huidige reservecapaciteit is bij bestaande drinkwaterwinningen. Ook zijn de gebieden in beeld gebracht die de provincies hebben aangewezen als strategisch belangrijk en inzetbaar voor de openbare drinkwatervoorziening. Daarnaast is in beeld gebracht wat mogelijk aanvullende kansrijke gebieden zijn voor de productie van drinkwater uit grondwater.

Voor de beleidsnota Drinkwater, de Nationale Milieuagenda, de Structuurvisie Ondergrond (STRONG), het Deltaprogramma en de tweede serie stroomgebiedbeheerplannen (SGBP'en) van de Kaderrichtlijn Water (KRW) heeft het RIVM een onderzoek uitgevoerd naar de bescherming van drinkwaterbronnen (Wuijts en Versteegh, 2013). In het rapport wordt ingegaan op de vragen: In hoeverre staan de bronnen voor drinkwaterproductie onder druk? Wat zijn de huidige en mogelijk toekomstige probleemstoffen in oppervlaktewater en grondwater rekening houdend met een 'eenvoudige zuivering'? In hoeverre vormen de lacunes in de bescherming een probleem voor een duurzame veiligstelling van de drinkwatervoorziening? In hoeverre is het noodzakelijk dat op beleidsniveau maatregelen worden geformuleerd om bronnen te beschermen? Welke informatie is daarvoor nodig?

3.2.2 Maatregelen

Grondwateraanvulling is een maatregel om de beschikbaarheid van water te vermeerderen. Er zijn verschillende manieren van grondwateraanvulling mogelijk, bijvoorbeeld:

- Duin- en oeverinfiltratie in west-Nederland ten behoeve van de drinkwaterwinning;
- Ondergrondse opslag van zoet water ten behoeve van de glastuinbouw om te dienen als gietwater (voor meer informatie over proefprojecten in Zuid-Holland wordt verwezen naar de website van Deltaproof);
- Het vergroten van de bestaande dikkere zoetwaterlenzen onder hooggelegen zandlichamen zoals duinen en kreekruggen (in infiltratiegebieden) door actieve infiltratie waardoor de zoetwaterbeschikbaarheid wordt vergroot. Deze maatregel staat nog in de kinderschoenen. Voor meer informatie en praktijkvoorbeelden wordt verwezen naar de website van Deltaproof;
- Het stimuleren van grondwateraanvulling in verstedelijkte gebieden.

Voorbeelden van maatregelen die genomen kunnen worden om de kwaliteit van het grondwater te verbeteren zijn:

- Grondwatersaneringen en gebiedsgericht grondwaterbeheer (zie paragraaf 3.1), met name in de nabijheid van winningen van grondwater;
- De inbreng van verontreinigende stoffen voorkomen of beperken. Dit staat beschreven in het 'prevent & limit' principe in de KRW. Concrete voorbeelden zijn het beperken/aanpassen van het gebruik van bestrijdingsmiddelen en verantwoord omgaan met meststoffen.

Een derde type maatregel waaraan gedacht kan worden om de ESD te optimaliseren is aandacht te besteden aan de waterkwaliteit die voor een bepaalde functie nodig is. Soms wordt er water van betere kwaliteit onttrokken dan dat er nodig is voor de desbetreffende functie.

3.3 Toekomstige trends die invloed hebben op de ESD

Toekomstige trends kunnen invloed hebben op de vraag op en het aanbod van de ESD.

Wat het aanbod van de ESD betreft, kan door klimaatverandering *verzilting* optreden. Het zoutgehalte van het grondwater kan toenemen door zoutindringing vanuit zee (en door bodemdaling) of door een toename van zoute kwel. De consequentie is dat de beschikbaarheid van zoet grondwater zal afnemen.
Bodemdaling komt in Laag-Nederland veel voor als gevolg van zetting en krimp van klei- en veenlagen, of veenoxidatie. Dit treedt onder meer op als gevolg van lage grondwaterstanden. De processen zijn irreversibel. In Hoog-Nederland is bodemdaling een zeer beperkt probleem door de meestal zandige ondergrond. Bodemdaling kan worden beperkt door hoge grondwaterstanden te handhaven. Om lage grondwaterstanden te voorkomen moet het peil van het oppervlaktewater worden gehandhaafd en soms ook water worden geïnfiltreerd in de bodem (Klijn et al., 2011). Dit beïnvloedt het aanbod van de ESD omdat het grondwater niet meer beschikbaar is voor ander gebruik.
Er is momenteel veel discussie over het opslaan van *radioactief afval* en *schaliegaswinningen*. Beide kunnen een negatieve invloed hebben op de beschikbaarheid en kwaliteit van het grondwater. Hierbij zal ook het aanbod van de ESD voor andere activiteiten verminderen.

Wat de vraag naar de ESD betreft, zullen *demografische en sociaal-economische ontwikkelingen* naar verwachting grote invloed hebben op hoe wij wonen en werken. De bevolkingsomvang neemt mogelijk nog toe (door immigratie), stabiliseert of kent lichte krimp. De groei van het aantal kleinere huishoudens blijft doorgaan en bij verdere economische groei en doorzetten van vergrijzing ontstaat een toenemende behoefte aan ruimer wonen en recreatiemogelijkheden. Verstedelijking en druk op ruimte en water nemen hierdoor in ieder geval verder toe, vooral in de Randstad (Min. V&W, VROM en LNV, 22 december 2009; uit Klijn et al., 2011). Hierdoor kan het gebruik van grondwater voor verschillende activiteiten toenemen (meer onttrekkingen) en neemt de kans op verontreiniging van het grondwater toe.

Voor de *landbouw* is het moeilijk te voorspellen hoe de arealen van de verschillende teelten zich zullen ontwikkelen. Veel scenariostudies wijzen op een verdere intensivering van de landbouw in Nederland, met meer kassen, meer tuinbouw, meer bollen, en meer sierteelt (Klijn et al., 2011). Dit zou invloed kunnen hebben op de hoeveelheid beregeningswater die op een bepaalde plek nodig is. Daarnaast kan ook gedacht worden aan verduurzaming van de landbouw, die een positieve invloed op de *beschikbaarheid van voldoende water met een bepaalde kwaliteit* zou kunnen hebben. Er zijn verschillende organisaties in het leven geroepen en initiatieven ontstaan om de Nederlandse landbouw te verduurzamen. Enkele voorbeelden van ontwikkelingen in de landbouw zijn de teelt van gewassen die gedijen bij zout water of grootschaliger landbouw. Afhankelijk van de ontwikkeling van de landbouw zal de vraag naar de ESD toe- of afnemen, respectievelijk bij intensivering of verduurzaming van de landbouw.

4 Beschikbare data over de ESD

In ANK, Atlas Natuurlijk Kapitaal (http://www.atlasnatuurlijkkapitaal.nl/), zijn de volgende kaarten beschikbaar die inzicht geven in de ecosysteemdienst *beschikbaarheid van voldoende water met een bepaalde kwaliteit*:

- De indicatoren die gekozen zijn om het gebruik en behoefte aan zoetwater voor diverse functies te beschrijven zijn:
  - "Knelpunten zoetwatervoorziening"
  - "Tekort zoet oppervlaktewater voor de landbouw voor gemiddeld, droog en extreem droog jaar"
- De indicatoren die gekozen is om irrigatiewater te beschrijven zijn:
  - Locatie beregeningsonttrekkingen uit grondwater en oppervlaktewater
  - Effect van beregeningsonttrekkingen op grondwaterkwel
  - Vermeden verdampingsreductie door beregening
- De indicator die gekozen is om drinkwater te beschrijven is een stroombanenkaart van de drinkwaterwinningen uit grondwater in Nederland. De stroombanen laten zien waar het water in een winput vandaan komt en wat de reistijd is;
- De indicatoren die gekozen is om de beschikbaarheid van zoet grondwater en oppervlakte water/ verzilting te beschrijven zijn 'diepte tot waar zoet-licht brak grondwater wordt aangetroffen en het 'voorkomen van zoet, brak en zout oppervlaktewater'.

Opstellers:
Janneke Klein (Deltares, Hoofdauteur en contactpersoon)
Johannes Lijzen (RIVM)
Sophie Vermooten (Deltares)
Monique van der Aa (RIVM)
Suzanne van der Meulen (Deltares)

Referenties

- Broers en Lijzen, 2014. Afwegingen bij het gebruik van grondwater en de ondergrond. Een verkenning op basis van ecosysteemdiensten. Deltares rapport 1207762-016, RIVM-rapportnr. 607710003/2014.
- Broers, H.P., Stuurman, R., De Lange, W., 2014. Een aanzet tot de begrenzing van Nationale Grondwater Reserves. Deltares rapport 1209468-011-BGS-0001.
- Broers, H.P. and J. Griffioen, 2012. Grondwaterstress – Wat nu? En Hoe dan? Bodem (4):14-16.
- De Nijs, A.C.M., Verweij, W., Buis, E., Janssen. G., 2011. Methodiekontwikkeling Drempelwaarden Grondwater: Achtergrondconcentraties en Attenuatie- en Verdunningsfactoren. RIVM Rapport 607402003.
- Dufour, F.C., 1998. Grondwater in Nederland. Onzichtbaar water waarop wij lopen. Geologie van Nederland, deel 3. Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO – Delft.
- Hoogeveen, M.W., K.H.M. van Bommel en G. Cotteleer, 2003. Beregening in land- en tuinbouw; Rapport voor de Droogtestudie Nederland, LEI, Den Haag, Rapport 3.03.02; ISBN 90-5242-785-2.
- http://www.helpdeskwater.nl/publish/pages/15612/05beregening_landbouw.pdf
  Kuijper, M.J.M., D.M.D. Hendriks, R.J.J. van Dongen, S. Hommes, J. Waaijenberg en B. Worm, 2012. Sturen op Basisafvoer. Een analyse van zomerafvoeren in het beheergebied van waterschap Regge en Dinkel en hoe daar in de toekomst mee om te gaan. Deltares-rapport 1202530-000-BGS-0012, Utrecht.
- De Louw, P.G.B., 2008. Effecten van grondwateronttrekkingen t.b.v. beregening op beekavoer, Noord-Brabant. Presentatie tijdens symposium beekafvoer, Utrecht. http://publicwiki.deltares.nl/display/KRWGR/Interactie+oppervlaktewater+en+grondwaterkwantiteit
- Factsheets grondwater: http://www.waterkwaliteitsportaal.nl/Beheer/Rapportage/Publiek?viewName=Factsheets&jaar=2014&maand=Mei
- Klijn, F., Ter Maat, J., Van Velzen, E., 2011. Zoetwatervoorziening in Nederland - landelijke analyse knelpunten in de 21e eeuw. Deltares rapport 1204358-002-VEB-0010.
- Leenaers, 2009. De Bosatlas van Ondergronds Nederland. Noordhoff Uitgevers bv, Groningen, ISBN 9789001122454.
- Ministerie van IenM, 2014. Schoon drinkwater voor nu en later.
- Ministerie van IenM, 2013. Circulaire bodemsanering per 1 juli 2013. Staatscourant nr. 16675, 17 juni 2013. 293.
- Ministerie van IenM, 2011. Besluit van 23 mei 2011, houdende bepalingen inzake de productie en distributie van drinkwater en de organisatie van de openbare drinkwatervoorziening (Drinkwaterbesluit).
- Moran J.E. et al., 2011. Nitrate Fate and Transport in the Salinas Valley. California GAMA Special Study: Final Report for the California State Water Resources Control Board. Task 10.5:

Lawrence Livermore National Laboratory, California State University, East Bay.
- Morera A., 2011. Arsenic mobilization in a pyrite-rich sandy aquifer at Oostrum, The Netherlands. McS thesis Universiteit Utrecht.
- Van Vliet, M.E., Wattel-Koekkoek, E.J.W., Verweij, W., 2012. Toekomstverkenning Landelijk Meetnet Grondwaterkwaliteit. RIVM Rapport 680720006.
- Van der Aa, N.G.F.M., B.H. Tangena, A.C.M. de Nijs, J.J. Bogte, H.H.J. Dik, S. Wuijts (2015) Grondwatervoorraden voor drinkwater. RIVM briefrapport (concept 28 oktober 2014).
- Opgaven voor de Ondergrond. Probleemstelling van het programma STRONG. Concept 12-03-2014.
- Wuijts, S. & Versteegh, J.F.M., 2013. Bescherming drinkwaterbronnen in het nationaal beleid. RIVM Rapport 609715005/2013.
- Wuijts, S., Bogte, J.J., Dik, H.H.J., Verweij, W.H.J., Van der Aa, N.G.F.M., 2014. Eindevaluatie gebiedsdossiers Drinkwaterwinningen. RIVM rapport 270005001/2014.
- Website Deltaproof:
    - Ondergrondse waterberging: http://deltaproof.stowa.nl/Publicaties/deltafact/Ondergrondse_waterberging.aspx?pId=45
    - Regenwaterlenzen: http://deltaproof.stowa.nl/Publicaties/deltafact/Regenwaterlenzen.aspx?pId=22
- Website Helpdesk Water: http://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/wetgeving-beleid/kaderrichtlijn-water/
- Websites gebiedsdossiers:
    - http://www.overijssel.nl/thema%27s/water/projecten/gebiedsdossiers/
    - https://www.provincie-utrecht.nl/onderwerpen/alle-onderwerpen/beschermingszones/gebiedsdossiers/
    - http://www.gelderland.nl/4/drinkwaterwinningen/Richtlijnen-voor-schoon-drinkwater-Schoon-water-uit-de-kraan-Gebiedsdossiers-Gelderse-drinkwaterwinningen.html
    - http://www.brabant.nl/dossiers/dossiers-op-thema/water/schoon-water/gebiedsdossier-drinkwaterwinningen.aspx
    - http://www.fryslan.nl/8614/gebiedsdossiers-drinkwaterwinningen-fryslan

Bijlage 2

Ecosysteemdienst 2 – Energie

Inhoud

1 Beschrijving van de Ecosysteemdienst — 45
1.1 Korte definitie — 45
1.2 Beschrijving van het systeem — 45

2 Gebruik van de Ecosysteemdienst — 47

3 Relaties tussen de ecosysteemdienst, factoren, activiteiten en maatregelen — 51
3.1 Hoe wordt de Ecosysteemdienst beïnvloed? — 51
3.2 Maatregelen om de ESD te optimaliseren — 53
3.3 Toekomstige trends die invloed hebben op de ESD — 54

4 Beschikbare data over ESD — 55

Belangrijkste conclusies en aanbevelingen:

De ecosysteemdienst 'energie' omvat alle aspecten van het grondwater en de ondergrond die een rol spelen bij energiesystemen, zoals de aanwezigheid en winning van bepaalde delfstoffen (olie, gas, schaliegas, kolen), opslag van stoffen (olie, gas, CO_2; zie ESD 5), de mogelijkheden voor benutting van energie in de ondergrond via aardwarmte, benutting van de ruimte om energie in de vorm van warmte in te brengen, of tijdelijk op te slaan.

Vele energiesystemen maken op een of andere manier gebruik van deze ESD, en de trend is dat dat de benutting van al deze aspecten in de (nabije) toekomst zal versnellen, door toenemende vraag en als gevolg van klimaatverandering.

5 Beschrijving van de Ecosysteemdienst

5.1 Korte definitie

De ecosysteemdienst energie van ondergrond en grondwater (ESD2): De Nederlandse ondergrond en het grondwater worden opgewarmd vanuit de aardkern en verliezen hun warmte aan het oppervlak. Op enkele kilometers diepte is heet en zout grondwater aanwezig met soms ook nog kolen, aardolie en aardgas. Minder diep (100-300m) is temperatuur van het zoete of brakke grondwater bijna gelijk aan de gemiddelde jaartemperatuur aan het oppervlak (10 - 12 °C), waardoor het gebruikt kan worden voor het koelen en/of verwarmen van gebouwen. In ondiepe lagen fluctueert de temperatuur enigszins, maar ook die lagen zijn soms bruikbaar om (gesloten) energiesystemen toe te passen. Naast de 'constante' temperatuur is ook een goede waterdoorlatendheid en/of geleidbaarheid van warmte/koude een belangrijk kenmerk. De ondergrond kan ook gebruikt worden voor opslag van stoffen die aan energiesystemen zijn gerelateerd.

5.2 Beschrijving van het systeem

De ondergrond bevat diverse energiebronnen en biedt mogelijkheden om energiesystemen te ondersteunen: olie, gas, schaliegas, kolen, geothermische bronnen, grondwater, waterdoorlaatbare lagen, water ondoordringbare lagen en bufferende lagen. Energiesystemen hebben elk hun specifieke kenmerken, afgestemd op de ecosysteemdiensten die ondergrond en grondwater bieden. Ze zijn te verdelen op basis van een set hoofdkenmerken, zoals winning, opslag, onttrekking en buffering, dat hieronder is toegelicht:

- Warmte onttreking. Benutten van de relatieve warmte die in de ondergrond en het grondwater aanwezig is (>10°). De warmte die in de ondergrond op middelmatige en grote diepte aanwezig is kan benut worden voor verwarming en in sommige gevallen (>100°) voor de productie van elektriciteit. Het afgekoelde grondwater wordt meestal weer geïnjecteerd.
- Koelte onttrekking. Benutten van grondwater in de ondiepe ondergrond voor koeling van gebouwen en installaties. In deze gevallen vindt er netto aanvoer van warmte naar de ondergrond plaats, en soms ook onttrekking van grondwater.
- Buffering door opslag. Benutten van de ondergrond als reservoir voor de tijdelijke opslag en onttrekking van energie (energieneutraal), via relatief warm en koud grondwater zonder netto onttrekking, of via warmtewisseling.
- Winning van delfstoffen (fossiele brandstoffen). Olie, gas, kolen en schalie vallen buiten de focus van deze factsheets, want er is al veel over bekend en ze worden al ruimschoots benut. Ze omvatten ter principale niet-hernieuwbare en uitputbare natuurlijk kapitaal bronnen. Op geologische tijdschalen zijn deze energiedragers ontstaan uit de opeenhoping van organische reststoffen in anaerobe zones in de ondergrond. Naast het feit dat fossiele brandstoffen niet hernieuwbaar zijn, spelen diverse afwentelingsproblemen, zoals CO_2 uitstoot en klimaateffecten, bodemdaling, bodemstabiliteit, en verontreiniging van de

ondergrond en grondwater. Daar staat tegenover deze bronnen economisch veel voordeel opleveren en Nederland minder afhankelijk maken van import. Informatie over fossiele energiebronnen in de Nederlandse bodem is ruimschoots beschikbaar via andere bronnen.

- Opslag van stoffen. De opslag van CO_2, olie en gas in de ondergrond kan ook als een aspect van deze ecosysteemdienst beschouwd worden, omdat ze gerelateerd is aan onze energiesystemen op basis van fossiele brandstoffen. De opslag van CO2, olie en gas, zijn beschreven bij ESD 5 (bergingscapaciteit).

In paragraaf 2 worden de systemen die aan deze ecosysteemdiensten zijn gekoppeld nader toegelicht.

6 Gebruik van de Ecosysteemdienst

In deze paragraaf worden de systemen die gebruik maken van deze ecosysteemdienst beschreven. Elk energiesysteem heeft specifieke kenmerken en stelt specifieke eisen aan het systeem, die hieronder worden toegelicht.

Warmte en koude opslag (WKO)
Het benutten van ondergrond en grondwater voor de tijdelijke opslag van energie bij een overschot (’s zomers koelen) via infiltratie en terugwinnen van energie bij een tekort (’s winters verwarmen) door onttrekking, gebeurt bij warmte koude opslag.
Open WKO gebruikt het grondwater om gebouwen en installaties te koelen (in de zomer) en te verwarmen (in de winter). Het grondwater wordt opgepompt uit een bron en langs een warmtewisselaar geleid en dan weer teruggepompt in een andere bron. Deze worden alternerend in de zomer en winter gebruikt, afhankelijk van de warmte en koeltevraag. Open WKO-installaties worden meestal toegepast in grotere gebouwen. De invloed van de installatie hoeft niet veel verder dan de grenzen van het terrein van het gebouw te reiken, maar bij plaatsing in de buurt van perceelgrenzen wordt het naburige perceel wel beïnvloed. De putten zijn meestal rond de 100 m diep, maar kunnen ook ondieper geplaatst worden. Grondwaterverontreiniging is over het algemeen geen begrenzing voor het gebruik voor WKO, De installaties kunnen ook in vervuilde gebieden gebruikt worden maar door het pompen zullen verontreinigingen verspreid worden. In sommige situaties kunnen de verspreide verontreinigingen snel afgebroken worden. Nederland is een geschikt land voor open WKO omdat de ondergrond vaak goed doorlatende zandpakketten bevat waardoor gemakkelijk veel grondwater gepompt kan worden. Daarnaast vraagt het Nederlandse klimaat om zowel verwarming als koeling waardoor het opslaan van warmte nuttig is.
Bij gesloten WKO- installaties wordt geen grondwater gecirculeerd, maar vindt de warmtewisseling in de bodem plaats. De koelvloeistof stroomt door buizen in de putten en komt niet in aanraking met het grondwater. Deze gesloten installaties zijn meestal kleinschaliger en geschikt voor het verwarmen en koelen van woningen. De kans op lekkage van de koelvloeistof in het grondwater moet klein worden gehouden. Een aantal commercieel beschikbare koelvloeistoffen bevatten een lage concentratie additieven met een groot milieurisico bij lekkage. Er zijn milieuvriendelijke koelvloeistoffen beschikbaar die geen grote problemen vormen bij een kleine lekkage. Gesloten WKO-installaties kunnen ook in vervuilde gebieden worden toegepast (van Beelen, 2013).
WKO draagt bij aan het verminderen van de CO_2 uitstoot. Het ondergrondse deel van de installatie moet tientallen jaren met weinig onderhoud kunnen functioneren. De gemaakte putten blijven echter voor altijd aanwezig in de ondergrond, waarbij er klei aangebracht kan worden ter hoogte van waterscheidende lagen.
Bij open en gesloten WKO wordt het grondwater niet als bron voor drinkwater ingezet. De opslag en de benutting van energie en grondwater dient gematigd en ongeveer neutraal uitgevoerd te worden, zodat er geen netto opwarming of afkoeling van de ondergrond en

onttrekking van grondwater plaatsvindt (van Beelen e.a., 2011). Deze energiesystemen zijn in theorie niet-uitputbaar en hernieuwbaar, maar in de praktijk kunnen er problemen ontstaan met bijvoorbeeld verontreiniging door koelwater, verstopping en geleiding, en elkaar beïnvloedende WKO-systemen (interferentie).

Onttrekking van grondwater met een constante temperatuur van 10 tot 12 graden (koelwater) en de drinkwaterdistributie

Ruw grondwater dat gebruikt wordt voor waterwinning heeft een constante temperatuur van 10-12 °C en kan in sommige gevallen ook als koeling ingezet worden. In de zomer is koel drinkwater gewenst zodat er dan niet veel ruimte is voor het gebruik als koelwater. Wettelijk gezien moet de temperatuur van het kraanwater lager blijven dan 25 °C in verband met mogelijke groei van ziekteverwekkers in de leidingen. Het ruwe grondwater kan veilig gebruikt worden als koelwater omdat de kwaliteitscontroles verderop in de keten plaatsvinden voordat het wordt toegelaten als drinkwater. In de winter is er wel voldoende koelcapaciteit omdat het drinkwater dan in de leidingen in de grond sterk afkoelt. De drinkwaterleidingen worden in Nederland altijd op minimaal 1 meter diepte in de grond gelegd om bevriezing te voorkomen (in de winter) en het water koel te houden (in de zomer). Dit is in feite een heel oude passieve toepassing van deze ESD en het kan een bijzondere vorm van een (afgeschermde) WKO installatie genoemd worden.
De koelcapaciteit in de winter kan door middel van WKO worden opgeslagen in het grondwater en in de zomer gebruikt worden. Dit zou ook een oplossing kunnen zijn wanneer het kraanwater dreigt op te warmen door hogere zomerse bodemtemperaturen veroorzaakt door het broeikaseffect. De techniek draagt bij aan het verminderen van de CO2 uitstoot en kan gezien worden als een hernieuwbare dienst.

Middelhoge- en hoge temperatuuropslag (MTO/HTO)

In de industrie en de glastuinbouw komt op grote schaal warmte vrij die niet wordt gebruikt. Vanwege toenemende energieprijzen, duurzaamheidsdoelstellingen en daaraan gekoppelde regelgeving is er toenemende interesse om deze restwarmte opnieuw en in te zetten, zowel voor eigen gebruik als voor levering aan anderen. Omdat het moment van vraag en aanbod vaak niet op elkaar aansluiten, is voor de bedrijfszekerheid van restwarmtelevering opslag nodig. Het ondergronds bufferen van warmte met behulp van middelhoge- (30-60 °C) of hoge temperatuur (60-95 °C) opslagsystemen (MTO/HTO) kan hierbij uitkomst bieden. Ook de warmte van zonnecollectoren kan op deze manier worden opgeslagen voor later gebruik. Het weglekken van de hoge temperatuur door convectie stromingen in het grondwater en het optreden van kalkneerslag op de warmtewisselaars hebben in het verleden de rentabiliteit van hoge temperatuursystemen negatief beïnvloed.

Diepe geothermie

Diepe geothermie is het winnen van natuurlijk aanwezige hoge temperatuur warmte in diepe lagen (1,5 – 3 km; geothermie). Er is geen netto water onttrekking, omdat afgekoeld grondwater weer geïnjecteerd wordt. Bij voldoende hoge temperatuur kan ook elektriciteit geproduceerd worden.

In Nederland wordt geothermie gebruikt voor het verwarmen van kassen. Het warme grondwater op 1,5-3 kilometer diepte wordt opgepompt en na het afkoelen weer terug geïnjecteerd via een zogenoemd geothermisch doublet. Dit water bevat vaak aardgas, aardolie en natuurlijke radioactiviteit. Het aardgas en soms ook de aardolie wordt als bijvangst gewonnen. De diepe boringen zijn een grote kostenpost en er is ook een risico dat er onvoldoende grondwater of een lagere temperatuur wordt aangeboord. De techniek draagt bij aan het verminderen van de CO_2 uitstoot.
De natuurlijke warmteflux vanuit de kern van de aarde is in Nederland niet voldoende om het terug- geïnjecteerde afgekoelde grondwater binnen afzienbare tijd weer op te warmen. In dit opzicht is het dus een niet hernieuwbare dienst.

Ondiepe geothermie
De natuurlijke bodemtemperatuur op een diepte van 500 meter ligt tussen 25 en 30 ºC. Bij ondiepe geothermie (OGT) wordt gebruik gemaakt van deze hogere bodemtemperatuur door grondwater te onttrekken op grotere diepte dan gebruikelijk is voor WKO, globaal dieper dan 250 m onder maaiveld. Dit warme water wordt ingezet voor verwarming. Het belangrijkste voordeel van OGT is dat geen bron van (rest)warmte nodig is, zoals bij MTO/HTO, en dat deze techniek op kleinere schaal toepasbaar is dan diepe geothermie. OGT is in Nederland nog niet in praktijk gebracht, maar er is wel veel interesse vanuit de glastuinbouwsector.

Tabel 1: Relatie tussen de ecosysteemdienst 'Energie' en de activiteiten (uit Broers en Lijzen, 2014).
J = activiteit maakt gebruik van de ecosysteemdienst, N = activiteit maakt geen gebruik van de ecosysteemdienst.

Activiteit	Specifieke activiteit	ESD
Onttrekkingen	Drinkwater	N
	Irrigatie uit grondwater	N
	Proceswater	N
	Koelwater	J
	Bouwactiveiten	N
	Beheer, sanering grondwaterverontreinigingen	N
Opslag	Opslag van regenwater voor proceswater	N
	Warmte en koude opslag	J
	Berging van (verontreinigd) sediment of afvalstoffen in zandwinputten	N
	Opslag radio-actief afval	N
	CO_2-opslag	N
	Brijnlozingen	N
	Kunstmatige infiltratie voor drinkwaterproductie (ASR)	N
Reserveringen	Bewaren van biodiversiteit/habitat van de ondergrond	N
	Bewaren van cultuurhistorische en archeologische waarden	N
	Reservering strategische grondwatervoorraden	N
Winning grondstoffen	Grind, zand en klei	N
	Zoutwinning	N
	Schaliegaswinning (incl. gebruik grondwater als proceswater)	N
	Olie- en gaswinning	N
	Geothermie	J
Ruimte beslag	Ondergrondse infrastructuur	N
	in-situ saneringen	N
Peilbeheer	Peilbeheer laag Nederland	N
	Peilbeheer hoog Nederland	N
Bovengrondse activiteiten	Beheer terrestrische/aquatische ecosystemen	N
	Recreatie (sportvisserij, zwemwater, natuurbeleving, thermae2000)	N
	Bodemafdichting	N
	Toepassen van meststoffen en bestrijdingsmiddelen	N
	Diffuse bodembelasting stedelijk gebied	N

7 Relaties tussen de ecosysteemdienst, factoren, activiteiten en maatregelen

7.1 Hoe wordt de Ecosysteemdienst beïnvloed?

Een overzicht van de beïnvloeding van de ESD door verschillende activiteiten staat weergegeven in tabel 2. De invloed van de verschillende activiteiten op de ESD wordt in onderstaande tekst besproken per hoofdactiviteit.

Tabel 2: Beïnvloeding van ecosysteemdiensten door de activiteiten in de boven- en ondergrond.
+ = positieve invloed van activiteit op het in stand houden of vergroten van de ESD
- = negatieve invloed van activiteit op ESD (vermindering dienst)
+/- = zowel positieve als negatieve invloed mogelijk, afhankelijk van tijdsschaal of invalshoek
O = geen positieve en/of negatieve invloed van de activiteit
?= onbekend
(?) achter een ander teken zoals een +(?) dan is het effect onzeker.

Activiteit	**Specifieke activiteit**	**ESD2**
Onttrekkingen	Drinkwater	o
	Irrigatie uit grondwater	o
	Proceswater	o
	Koelwater	o
	Bouwactiveiten	o
	Onttrekking tbv beheer en saneringen grondwaterverontreinigingen	o
Opslag	Opslag van regenwater voor proceswater	o
	Warmte en koude opslag	+/-
	Berging van (verontreinigd) sediment of afvalstoffen in zandwinputten	o
	Opslag radio-actief afval	o
	CO2-opslag	o
	Brijnlozingen	o
	Kunstmatige infiltratie voor drinkwaterproductie (ASR)	o
	NWRM	
Reserveringen	Bewaren van biodiversiteit/habitat van de ondergrond	o
	Bewaren van cultuurhistorische en archeologische waarden	o
	Reservering strategische grondwatervoorraden	o
Winning grondstoffen	Grind, zand en klei	o
	Bruinkoolwinning Naar Duits voorbeeld	-
	Zoutwinning	o
	Schaliegaswinning (incl. gebruik grondwater als proceswater)	-
	Olie- en gaswinning	-
	Geothermie	-
Ruimtebeslag	Ondergrondse infrastructuur	o
	aanpak grondwaterverontreiniging, incl. in-situ saneringen	o
Peilbeheer	Peilbeheer laag Nederland	o
	Peilbeheer hoog Nederland	o
Bovengrondse activiteiten	Beheer terrestrische/aquatische ecosystemen	o
	Recreatie (sportvisserij, natuurbeleving, thermae2000)	o
	Bodemafdichting	o
	Toepassen van meststoffen en bestrijdingsmiddelen	o
	Diffuse bodembelasting stedelijk gebied	o

Open WKO-systemen vormen een vaste component in het verbeteren van de energieprestatiecoëfficiënt van nieuwe kantoren, scholen en zorginstellingen. Door een geïntegreerde aanpak wordt het energieverbruik in nieuwe gebouwen sterk verminderd. In nieuwe gebouwen met vloerverwarming hoeft de temperatuur van het water in de verwarming niet meer dan 35 °C te zijn. Op deze manier verbruikt de warmtepomp minder energie. Voor een radiator is al snel warmte van 60 °C nodig. De koeling met een warmte koude opslagsysteem is veel energiezuiniger dan een traditionele airconditioning. De dimensionering van het WKO-systeem en het voorspellen en handhaven van de energiebalans vereisen deskundigheid.
Gesloten WKO-systemen kunnen individueel per woonhuis worden opgeleverd. Vloerverwarming is ook hier gewenst. De gebruikers betalen niet meer dan traditionele verwarming en hebben daarnaast ook nog extra comfort door gratis koeling in de zomer. In dit soort systemen wordt de energiebalans vaak niet gehandhaafd en zorgt de stroming van het grondwater ervoor dat er geen ongewenste temperaturen in het grondwater ontstaan.
Het gebruik van het ruwe grondwater voor de (drink)waterwinning als koelmiddel is voorbehouden tot bedrijven die drinkwater winnen. Om deze reden is het gebruik beperkt en afhankelijk van de drinkwatervraag en ambities van de drinkwaterbedrijven.
In de industrie en de glastuinbouw komt op grote schaal warmte vrij die niet wordt gebruikt. Vanwege toenemende energieprijzen, duurzaamheidsdoelstellingen en daaraan gekoppelde regelgeving is er toenemende interesse om deze restwarmte opnieuw en dus duurzaam in te zetten, zowel voor eigen gebruik als voor levering aan anderen.
Omdat het moment van vraag en aanbod vaak niet op elkaar aansluiten, is voor de bedrijfszekerheid van restwarmtelevering opslag nodig. Het ondergronds bufferen van warmte met behulp van middelhoge- (30-60 ºC) of hoge temperatuur (60-95 ºC) opslagsystemen (MTO/HTO) zou hierbij misschien uitkomst kunnen bieden. Ook de warmte van zonnecollectoren kan op deze manier worden opgeslagen voor later gebruik.
Geothermie wordt in Nederland vooral toegepast bij grote tuinbouwbedrijven voor de verwarming van kassen. De tuinbouwbedrijven kunnen de warmte-afname garanderen. Dit is niet het geval bij stadsverwarming waarbij door verdere isolatie van woningen de warmtevraag sterk terug kan lopen waardoor het geothermieproject onrendabel wordt. Geothermie is een betrouwbare bron van energie met een zeer lage CO_2 uitstoot. Het water dat opgepompt wordt bij geothermie is vaak vervuild met aardolie en natuurlijke radioactiviteit. Dit is geen probleem wanneer het gebruikte water zoals gebruikelijk weer teruggepompt wordt in de diepere lagen.
Een nieuwe boring vraagt altijd een grote financiële investering terwijl er geen garantie is dat er voldoende aardwarmte ter plaatse gewonnen kan worden. Dit risico vertraagt de groei van geothermie in Nederland. De overheid heeft een garantieregeling wanneer de geothermieboring teleurstellende resultaten oplevert.
De volgende aspecten hebben een negatieve invloed op de mogelijke benutting van deze ecosysteemdienst.

- Onbalans in de energiebalans zodat er structurele opwarming/afkoeling van het grondwater plaatsvind, waardoor ze niet meer bruikbaar is voor energiewinning/opslag)

- Aanwezigheid onttrekkingen: hogere stroomsnelheid kan isolerende werking verminderen (niet altijd)
- Aanwezigheid andere onttrekkingen: geen (potentieel) door WKO opgewekte kwaliteit/temperatuurverandering van het grondwater in de nabije onttrekking toegestaan
- Aanwezigheid grondwaterverontreinigingen: beleidsmatige barrières (energiesysteem zelf heeft er geen last van, maar het ecosysteem mogelijk wel). Onwenselijkheid verspreiding en effecten van verontreinigingen of onwenselijkheid doorboring afdichtende laag onder verontreiniging
- Aanwezigheid andere WKO-systemen die leiden tot interferentie of behoefte tot ordening.
- Risico op verzilting door zoet/zoutgrens binnen bereik van systeem: beleidsmatige barrière ter bescherming het zoete grondwater.
- Risico op vermenging natuurlijke grondwaterkwaliteiten: risico op verstopping door neerslagen en bacteriegroei veroorzaakt door redox verschillen in de verschillende grondwater lagen.
- Voor toepassing van geothermie gelden bovenstaande negatieve belemmeringen niet, vanwege de grotere diepte. Combiconcept geothermie i.c.m. HTO mogelijk wel invloed, hoewel HTO dieper zit dan gewone WKO.

Ook sterk vervuild (indien beleidsmatig toegestaan) of zout grondwater kan in theorie gebruikt worden voor WKO, maar soms is de corrosiviteit een probleem. WKO-systemen kunnen zowel negatief als positief beïnvloed worden door naburige WKO-systemen, door drinkwaterwinningen, bronbemalingen en tunnels. De Grondwaterwet en de Algemene Maatregel van Bestuur van 25 maart 2013 over bodemenergiesystemen geven aan dat een nieuw bodemenergiesysteem de al aanwezige systemen niet negatief mag beïnvloeden. Doordat schaliegaswinning, gaswinning, oliewinning en geothermie in veel diepere lagen plaatsvinden dan WKO is er geen verstoring van het WKO-systeem te verwachten en andersom. Bij grote afgravingen zoals bruinkoolwinning maar ook bij nieuwbouw onder de grond is het meestal nodig om het grondwater af te voeren om de afgraving of bouwput droog te houden. In het algemeen kunnen grote grondwater onttrekkingen of verplaatsingen leiden tot een verminderd rendement van een open WKO-systeem. De opgeslagen warmte en koude worden dan immers met het grondwater afgevoerd.

7.2 Maatregelen om de ESD te optimaliseren

De aspecten in de vorige paragraaf geven handvatten voor optimalisatie van deze ESD.

- De ondergrond in dichtbebouwd gebied kan beperkt energie leveren. De optimalisatie bestaat uit:
    - tussenruimte tussen bronnen minimaliseren, zodat er zoveel mogelijk bronnen geplaatst kunnen worden,
    - bronnen zo plaatsen dat thermische zones gecombineerd worden, zodat rendement per bron omhoog gaat, en
    - vooruitkijken naar ontwikkelingen als tunnelbouw en andere functies.

- Bij ondergrond met hoge stroomsnelheden kan men zich richten op gesloten systemen of recirculatiesystemen.
- Ondergrond met beleidsmatige beperkingen als verontreinigingen: beleidswijziging richting gebiedsgericht grondwaterbeheer om ruimte te scheppen.
- Geothermie heeft nog geen ruimtelijk probleem (hoewel opsporingsvergunningen al wel concurreren), optimalisatie kan vooral door toename kennis over diepe lagen.

WKO wordt in Nederland in enkele stedelijke gebieden steeds intensiever gebruikt waardoor coördinatie nodig is. Optimalisering van het rendement vraagt ook coördinatie in de ondergrond. Wanneer de warme bronnen van een aantal installaties naast elkaar liggen dan wordt de warmtelekkage sterk verminderd. Dit geldt ook voor koude bronnen die naast elkaar liggen. Er ontstaan problemen wanneer een koude en een warme bron vlak naast elkaar liggen. In die situatie kan de opgeslagen warmte of koude weglekken (interferentie). Hoge temperatuuropslag wordt ook nog wel eens genoemd als een optimalisatie van warmte koude opslag (niet bij bestaande systemen, vanwege convectie). Bij een goed ontwerp voor hogere temperatuur opslag zijn de effecten van convectiestromingen in het grondwater die de warmte laten weglekken overzienbaar.
In gebieden met een hoge natuurlijke grondwaterstroomsnelheid kunnen gesloten systemen of recirculatiesystemen ingezet worden. Recirculatiesystemen kunnen wel een groter verziltend effect hebben dan opslagsystemen, wat feitelijk een beperking van deze ESD kan betekenen.

7.3 Toekomstige trends die invloed hebben op de ESD

Door de klimaatverandering en mogelijk ook door toename van de welvaart is er een toenemende behoefte aan koeling van gebouwen in Nederland. Wanneer de nieuwbouw weer aantrekt dan zullen energiezuinige gebouwen een belangrijk aandeel vormen. Ook zal de rendabiliteit van WKO systemen toenemen, door innovatie en volume. Door deze trends is het te verwachten dat er een voortgaande groei zal zijn van WKO-systemen.
Geothermie: als de techniek gangbaarder wordt en er door de gerealiseerde systemen meer kennis (en dus minder risico bij boring) opgedaan wordt, kan deze techniek sterk versnellen (of vertragen bij tegenslagen). Bij een geslaagde boring is het economische rendement groot.

8 Beschikbare data over ESD

Er is een website van de rijksoverheid over de geschiktheid van de Nederlandse ondergrond voor warmte koude opslag (wkotool.nl).
De website meermetbodemenergie.nl geeft informatie over het onderzoek naar bodemenergie. De website van de brancheorganisatie voor bodemenergie (bodemenergie.nl), SIKB (sikb.nl) en Rijkswaterstaat geven ook interessante informatie (rwsleefomgeving.nl).
Het RIVM geeft ook informatie over warmte koude opslag waaronder de volgende twee rapporten:

- Van Beelen, P. (2013) 'A method to rank the relative environmental hazard of coolants leaking directly into groundwater [Een methode om het milieurisico van koelvloeistoffen voor grondwater te rangschikken]', RIVM report 607050014, 17.
- Van Beelen, P., Schijven, J., de Roda Husman, A. M., van der Aa, M. and Otte, P. (2011) 'Een literatuurstudie naar de mogelijke risico's van warmte- en koudeopslag voor de grondwaterkwaliteit [The continuous growth of Thermal Energy Storage (TES) might be limited by the possible risk for the drinking water supply.]', RIVM rapport 607050009.

Opstellers:
P. van Beelen (RIVM, contactpersoon),
M. Rutgers (RIVM),
N. van Oostrom (Deltares)

Referenties

- Broers, H.P., Lijzen, J., 2014. Afwegingen bij het gebruik van grondwater en de ondergrond, Deltares-rapport 1207762-016, RIVM-rapport 607710003/2014.
- Van Beelen, P. (2013) 'A method to rank the relative environmental hazard of coolants leaking directly into groundwater [Een methode om het milieurisico van koelvloeistoffen voor grondwater te rangschikken]', RIVM report 607050014, 17.
- Van Beelen, P., Schijven, J., de Roda Husman, A. M., van der Aa, M. and Otte, P. (2011) 'Een literatuurstudie naar de mogelijke risico's van warmte- en koudeopslag voor de grondwaterkwaliteit [The continuous growth of Thermal Energy Storage (TES) might be limited by the possible risk for the drinking water supply.]', RIVM rapport 607050009.

Bijlage 3

Ecosysteemdienst 3: Reinigend vermogen van de ondergrond

Inhoud

1. Beschrijving van de Ecosysteemdienst — 59
1.1. Korte definitie — 59
1.2. Beschrijving van het systeem — 59

2. Gebruik van de Ecosysteemdienst — 64

3. Relaties tussen de Ecosysteemdienst, activiteiten en maatregelen — 67
3.1. Hoe wordt de Ecosysteemdienst beïnvloed? — 67
3.2. Maatregelen om de ESD te optimaliseren — 68
3.3. Toekomstige trends die invloed hebben op de ESD — 69

4. Beschikbare data over de ESD — 70

Belangrijkste conclusies en aanbevelingen:

De ESD *'Reinigend vermogen van de ondergrond'* is een regulerende ESD waarbij verschillende van nature optredende fysische, chemische en biologische processen een rol kunnen spelen zoals verdunning, fysieke filtering, adsorptie, immobilisatie en afbraak.

Er zijn zowel activiteiten die bewust en direct actief gebruik maken van de ESD zoals kunstmatige infiltratie voor drinkwaterproductie (ASR), in situ saneren en ondergrondse ontijzering of bufferstroken rond waterlopen, maar ook activiteiten die passief of indirect gebruik maken van de dienst zoals drinkwateronttrekking die baat hebben bij bijvoorbeeld denitrificatie.

Veel menselijke activiteiten beïnvloeden de ESD op een negatieve wijze omdat de daaruit volgende immissies een aanspraak doen op de beschikbare reactiecapaciteit van de ondergrond. Dit gebeurt op verschillende geografische en tijdschalen, afhankelijk van de activiteit en het natuurlijk optredende reinigende proces. Er is nog weinig kennis beschikbaar over de mate van uitputting van de ESD door de verschillende activiteiten en de tijdschaal waarop. De activiteit *'Bewaren van biodiversiteit/habitat van de ondergrond'* heeft een positieve invloed op het in stand houden en vergroten van de ESD omdat deze activiteit er voor zorgt dat de redoxtoestand en het bacteriële leven beschermd worden.

Het functioneren van de ESD kan geoptimaliseerd worden door maatregelen die de natuurlijk optredende fysische, chemische en biologische processen bewaren of stimuleren.

Wat toekomstige trend betreft zal door intensievere benutting van de ondergrond, bijvoorbeeld door intensivering van de landbouw, de reactiecapaciteit van de ondergrond sneller kunnen worden uitgeput. Als gevolg van klimaatverandering en (in stedelijk gebied) toenemend areaal afgedekte bodem kan de ESD in mindere mate benut worden, doordat meer water direct afstroomt naar sloot of RWZI. Meer aandacht voor duurzame landbouw en het beperken van industriële immissies vermindert de vraag naar de ESD en draagt bij aan het conserveren ervan.

1 Beschrijving van de Ecosysteemdienst

1.1 Korte definitie

Het *Reinigend vermogen van de ondergrond* is, volgens de CICES (2013) indeling[3], een regulerende ecosysteemdienst, die zorgt voor het verwijderen van ongewenste stoffen en organismen – verontreinigingen - uit het grondwater, of voor het verlagen van de concentratie van verontreinigingen tot meer gewenste dan wel toelaatbare niveaus. Dit gebeurt met behulp van natuurlijk optredende fysische, chemische en biologische processen (Broers en Lijzen 2014).

1.2 Beschrijving van het systeem

Algemeen

Achtergrondinformatie over het hydrologische en biogeochemische systeem dat ten grondslag ligt aan de ESD 'Reinigend vermogen van de ondergrond' kan gevonden worden in handboeken zoals bijvoorbeeld Salomon & Stigliani (1995), Domenico & Schwartz (1998) en Appelo & Postma (2005). Voor het goed functioneren van deze dienst moet de ondergrond toegankelijk en voldoende poreus zijn, zodat het verontreinigde water in de ondergrond kan infiltreren en stromen. Dit stelt voorwaarden aan de infiltratiecapaciteit van de bodem en de doorlatendheid van bodem en ondergrond. In termen van bron - pad - receptor moet er een zekere verblijftijd langs het pad in de ondergrond zijn, om voldoende tijd te bieden aan de processen die tot de gewenste concentratie-afname van de verontreiniging leiden. Het ondergrondsysteem moet dus ook een zekere omvang hebben. Dit komt bijvoorbeeld tot uiting bij het vaststellen van grondwaterbeschermings-gebieden. Eventuele verdere systeemeisen zijn afhankelijk van wat het belangrijkste concentratie-verlagende proces is: verdunning, fysieke filtering, adsorptie, immobilisatie of afbraak. De systeemeisen zijn ook afhankelijk van de aard van de specifieke verontreiniging. Als hoofdgroepen kan daarbij gedacht worden aan nitraat, fosfaat, bestrijdingsmiddelen, metalen, olieverontreinigingen, gechloreerde organische stoffen, "nieuwe" verontreinigingen en (resistente) pathogene bacteriën. De belangrijkste reactieve componenten in de ondergrond zijn zuurstof, organische stof, kleimineralen, verschillende ijzermineralen en kalk (zie Griffioen et al, 2012).

Filteren, verdunnen

Voor in het grondwater zwevende deeltjes, zoals bacteriën, werkt de poreuze ondergrond allereerst als een filter of zeef, waardoor de concentratie in het doorstromende grondwater geleidelijk afneemt langs de stroombaan. Hiervan wordt gebruik gemaakt bij oeverinfiltratie, waar oppervlaktewater door bodempassage bacterieel gezuiverd wordt voordat het wordt onttrokken voor drinkwaterdistributie. Verdunning met schoon grondwater, door diffusie en dispersie aan het front van een verontreinigingspluim, is een ander fysisch proces dat tot verlaging van

[3] CICES V4.3 (http://cices.eu/). De ESD Reinigend vermogen van de ondergrond valt onder de Divisie: Mediation of waste, toxics and other nuisances.

de concentratie kan leiden. Kleinere verontreinigingspluimen kunnen hierdoor op de lange termijn "verdwijnen".
Voor deze fysische processen zijn doorlatendheid, verblijftijd, en de grondwaterstromingssnelheid bepalende voorwaarden. De mate van menging door dispersie neemt toe met een hogere stromingssnelheid, de filterwerking juist af. Een hogere doorlatendheid is gekoppeld aan een hogere stromingssnelheid en een kortere verblijftijd. De verdunnende capaciteit is in principe hernieuwbaar, maar lokaal wel uitputbaar, afhankelijk van de mate van verversing van niet verontreinigd grondwater in relatie tot de aanvoer van verontreinigd water. De fysieke filterwerking van het ondergrond-systeem is praktisch gezien een constante, maar kan beperkt worden als door andere (meest biogeochemische) processen verstopping van het poriesysteem optreedt.

Uitwisselingsreacties: adsorptie
Adsorptie is een fysisch-chemisch filterproces, waarbij in het grondwater opgeloste stoffen of zwevende deeltjes zich hechten aan het oppervlak van de vaste bodemdeeltjes. Hoe groter het totale vaste oppervlak, hoe groter de adsorptiecapaciteit. Kleimineralen, ijzer-oxiden en natuurlijk organisch stof staan bekend om hun grote specifiek oppervlak, ze hebben veel oppervlak per totale massa. De adsorptiesterkte (hoeveel er relatief gezien adsorbeert) is verschillend per combinatie van opgeloste stof (verontreiniging) en type bodemdeeltje. Hydrofobe stoffen, zoals minerale olie, adsorberen relatief graag, en dan vooral aan natuurlijke organische stof. Bij hydrofiele stoffen speelt het type oppervlaktelading (positief of negatief) van de bodemdeeltjes een rol. Natuurlijke organische stof- en kleimineraal-oppervlakken zijn vaak enigszins negatief geladen en daarmee een goed adsorbens voor metaal-ionen die zelf positief geladen zijn. IJzer-oxiden hebben vooral een positieve oppervlaktelading en kunnen goed het negatief geladen fosfaat adsorberen.
Naast de fysieke eis van een doorlatend systeem is de totale adsorptiecapaciteit van de ondergrond (voor de beschouwde verontreiniging) hier de bepalende randvoorwaarde. Net als een actief koolfilter, kan de ondergrond als adsorbens "vol" raken. Door weer te "spoelen met schoon water" is de adsorptiecapaciteit te regenereren (dus in zekere zin hernieuwbaar), maar hieruit volgt tegelijk dat de vastlegging door adsorptie slechts tijdelijk is. Uiteindelijk zal een receptor alsnog bereikt worden, maar met vertraging ten opzichte van de grondwatersstromingssnelheid. De vertraging wordt bepaald door de adsorptiesterkte en de beschikbare adsorptiecapaciteit, die samen bepalen hoeveel van de totale massa van een verontreiniging wordt "achtergehouden". In combinatie met verdunning door dispersie kan een groter ondergrond-volume benut worden, waardoor effectief de vertraging groter wordt. Dit is een van de mechanismen waardoor verontreinigingspluimen maar langzaam van plaats veranderen.
De adsorptiecapaciteit is als zodanig dus niet uitputbaar, maar kan lokaal wel volledig benut zijn of zo ver benut zijn dat de gewenste concentratie-verlaging niet meer afdoende is. Dit is bijvoorbeeld het geval bij fosfaat-verzadigde bodems. Hierin is al zoveel fosfaat vastgelegd dat de fosfaatconcentratie in het bovenste grondwater boven de gestelde norm uitkomt. Afhankelijk van de ligging van de verzadigde

grond ten opzichte van een sloot of beek kan dit een probleem vormen voor de oppervlaktewaterkwaliteit.
De adsorptiecapaciteit kan wel veranderen als gevolg van verschillende biogeochemische processen in de ondergrond. Afbraak door oxidatie vermindert uiteraard de bijdrage van organische stof aan de totale adsorptiecapaciteit. Voor ijzeroxiden geldt juist dat ze gevormd kunnen worden door oxidatie van bijvoorbeeld pyriet, en verdwijnen onder reducerende omstandigheden.

Omzettingsreacties: afbraak en immobilisatie
Deze processen worden hier samen besproken omdat afbraak en immobilisatie beide zorgen voor een verlaging van de opgeloste concentratie van een verontreiniging. Ook zijn in beide gevallen redox-processen belangrijk. Alleen bij afbraak vindt er een onomkeerbare omzetting plaats; bij immobilisatie is het reactieproduct niet of minder goed oplosbaar dan de oorspronkelijke verontreiniging en worden er nieuwe vaste bodemdeeltjes gevormd, maar als de condities wijzigen kan de reactie ook weer in omgekeerde richting verlopen. Stoffen die afgebroken kunnen worden zijn alle organische verontreinigingen en nitraat; metalen en fosfaat kunnen alleen geïmmobiliseerd worden. Afbraak van organische verontreinigingen verloopt vaak in stappen, waarbij ook de intermediaire producten ongewenste stoffen kunnen zijn. In het algemeen kunnen omzettingsreacties die bijdragen aan het reinigend vermogen van de ondergrond neveneffecten hebben die tot ongewenste concentraties van stoffen in het grondwater leiden.
De meeste chemische omzettingsreacties in de ondergrond vinden plaats omdat ze door bepaalde bacteriën worden gebruikt voor hun metabolisme en groei. Zonder de aanwezigheid van de betreffende bacteriën zou de reactie niet, of veel trager verlopen. De bacteriën zijn dus afhankelijk van de aanwezigheid van de reagerende stoffen (waaronder de verontreiniging); het verloop van de reactie is afhankelijk van het (in de kiem) aanwezig zijn van de juiste bacteriën. De mate van afhankelijkheid of specificiteit verschilt per type bacterie en per reactie. Voor het kunnen optreden van biogeochemische afbraak- en immobilisatie-processen moet de ondergrond dus de juiste samenstelling hebben, in termen van aanwezige reactieve stoffen/ oppervlakken. Ook moeten de condities in het gecombineerde water-bodem systeem de reactie niet belemmeren (door competitie van andere opgeloste stoffen) en geschikt zijn voor de groei van de benodigde bacteriën (geen toxische concentraties van de verontreiniging of andere stoffen). Belangrijke randvoorwaarden hierbij zijn zuurgraad (pH) en redox condities. Een en ander wordt hieronder per type verontreiniging en omzettingsreactie verder toegelicht.

Nitraat afbraak. Voor de afbraak van nitraat kunnen verschillende bodemcomponenten worden gebruikt: organische stof, ijzerhoudende carbonaten en kleimineralen (geen ijzeroxiden) waaruit het Fe(II)-ion oplost, of sulfide-mineralen, waaronder pyriet. Aanwezigheid van zuurstof (in onverzadigde zone of bovenste grondwater) belemmert denitrificatie.

Oxidatieve afbraak van organische verontreinigingen. Natuurlijke oxidatie van organische verontreinigingen (meestal onder aerobe condities) speelt vooral bij minerale olie, de zogenaamde BTEX groep

(benzeen, tolueen, ethylbenzeen en xyleen), en PAK (meer-rings aromatische koolwaterstoffen), en bij de vervolgstappen in de afbraak van gechloreerde koolwaterstoffen. De van nature aanwezige oxidanten in de ondergrond zijn zuurstof, nitraat en ijzer/mangaanoxiden. De oxidatieve kracht van de laatste is voor deze organische stoffen niet groot genoeg en bij van nature lage nitraat-concentraties blijft alleen zuurstof over als effectieve oxidant. Zuurstof is alleen beschikbaar in het bovenste, niet volledig waterverzadigde deel van het ondergrondsysteem, en in beperkte mate in het bovenste grondwater.

Reductieve afbraak van organische verontreinigingen. Natuurlijke reductieve afbraak (onder anaerobe condities) is van belang voor gechloreerde koolwaterstoffen en in geringere mate voor fluorkoolwaterstoffen. De laatste zijn veel moeilijker afbreekbaar. De belangrijkste motor achter natuurlijke reductieve afbraak is natuurlijk organisch stof dat in de diepere ondergrond maar beperkt aanwezig is. Meer dan voor oxidatieve afbraak, zijn voor dechlorinatie en defluorisatie specifieke bacteriën nodig.

Immobilisatie van fosfaat. De oplosbaarheid van fosfaat wordt beperkt door de aanwezigheid van calcium en in mindere mate ijzer. In een kalkhoudende ondergrond zal bij een overmaat aan fosfaat de kalk voor een klein deel oplossen en apatiet (calciumfosfaat) neerslaan. Met ijzer kan uit zuurstof of nitraathoudend grondwater strengiet (Fe(III)fosfaat) gevormd worden of vivianiet (Fe(II)fosfaat) uit zuurstofloos grondwater.

Immobilisatie van metalen. De oplosbaarheid van metalen wordt beperkt door een lage zuurgraad (hoge pH) en de aanwezigheid van zwavel in sulfidevorm. Kalk is de belangrijkste buffer van de zuurgraad en de aanwezigheid van kalk verlaagt daarmee de oplosbaarheid van metalen. In grondwater aanwezig sulfaat kan omgezet worden naar sulfide als er geen zuurstof, nitraat, of ijzeroxiden als oxidant meer aanwezig zijn en er nog voldoende organische stof is. Organisch stof is hier de benodigde bodemcomponent, maar de concentratie opgelost sulfaat beperkt de mate waarin immobilisatie mogelijk is. Sommige metalen, bijvoorbeeld cadmium, kunnen ook geïmmobiliseerd worden als pyriet in de ondergrond aanwezig is, doordat cadmiumsulfide gevormd wordt ten koste van het ijzersulfide.
De voor biogeochemische omzettingsprocessen benodigde bodemcomponenten worden in het algemeen in het proces verbruikt. Zuurstof in de bovengrond is uiteraard hernieuwbaar, maar uitputbaar in de zin dat de aanwezigheid van een organische verontreiniging kan leiden tot zuurstofloze condities ook in het bovenste grondwater. Voor organische stof in de bovengrond geldt dat dit in principe een hernieuwbare bron is, die door natuurlijke bodemvormingsprocessen kan worden aangevuld. Ook hier kan echter uitputting optreden. Voor de overige stoffen in de ondergrond geldt in het algemeen dat ze niet hernieuwbaar en dus in principe uitputbaar zijn. Het vaste bodemvolume is echter groter dan het porievolume, en stofgehaltes in water zijn relatief klein ten opzichte van die in vaste bodembestanddelen. In de praktijk betekent dit dat, bij continue benutting van de ecosysteemdienst, uitputting optreedt aan een geleidelijk opschuivend front. De snelheid waarmee het front opschuift hangt af van de concentratie van de inkomende verontreiniging, de aanwezige capaciteit

aan benodigde reactieve bodembestanddelen en ook van de activiteit van de bacteriepopulatie.

Voor natuurlijke bacterie-populaties geldt dat ze zich aan kunnen passen aan veranderende omstandigheden, maar dat kost wel tijd. Niet altijd ontwikkelen zich die bacteriën die de gewenste specifieke afbraakreactie kunnen realiseren, bijvoorbeeld omdat er andere, aantrekkelijker stoffen voor hun metabolisme beschikbaar zijn, of omdat het voorafgaande verloop in biogeochemische condities in een andere richting gestuurd heeft. Ook voor bacteriepopulaties geldt daarom dat ze op de langere termijn hernieuwbaar zijn, maar op korte termijn uitputbaar door ongunstige (toxische) omstandigheden.

2 Gebruik van de Ecosysteemdienst

De volgende activiteiten in onderstaande tabel 1 maken gebruik van de ecosysteemdienst '*Reinigend vermogen van de ondergrond'* (ESD3). Dit zijn zowel activiteiten die bewust en actief gebruik maken van de ESD zoals kunstmatige infiltratie voor drinkwaterproductie (ASR), in situ saneren en ondergrondse ontijzering en bufferstroken rond waterlopen, maar ook activiteiten die passief gebruik maken van de dienst zoals drinkwateronttrekkingen die baat hebben bij denitrificatie (Broers en Lijzen, 2014). Voor een uitgebreidere beschrijving van de activiteiten wordt naar deze publicatie verwezen.

Tabel 1: Relatie tussen de ecosysteemdienst "Reinigend vermogen van de ondergrond' en de activiteiten (Broers en Lijzen, 2014).
J = activiteit maakt gebruik van de ecosysteemdienst, N = activiteit maakt geen gebruik van de ecosysteemdienst ? = onduidelijk of de activiteit gebruik maakt van de ecosysteemdienst

Activiteit	**Specifieke activiteit**	ESD
(grondwater) Onttrekkingen	Drinkwater	J
	Irrigatie uit grondwater	J
	Proceswater	J
	Koelwater	N
	Bouwactiveiten	N
	Beheer, sanering grondwaterverontreinigingen	N
Opslag	Opslag van regenwater voor proceswater	N
	Warmte en koude opslag	N
	Berging van (verontreinigd) sediment of afvalstoffen in zandwinputten	J
	Opslag radio-actief afval	N
	CO_2-opslag	N
	Brijnlozingen	N
	Kunstmatige infiltratie voor drinkwaterproductie (ASR)	J
Reserveringen	Bewaren van biodiversiteit/habitat van de ondergrond	N
	Bewaren van cultuurhistorische en archeologische waarden	N
	Reservering strategische grondwatervoorraden	J
Winning grondstoffen	Grind, zand en klei	N
	Zoutwinning	N
	Schaliegaswinning (incl. gebruik grondwater als proceswater)	N
	Olie- en gaswinning	N
	Geothermie	N
Ruimte beslag	Ondergrondse infrastructuur	N
	in-situ saneringen	J
Peilbeheer	Peilbeheer laag Nederland	N
	Peilbeheer hoog Nederland	N
Bovengrondse activiteiten	Beheer terrestrische/aquatische ecosystemen	J
	Recreatie (sportvisserij, zwemwater, natuurbeleving, thermae2000)	N
	Bodemafdichting	N
	Toepassen van meststoffen en bestrijdingsmiddelen	J
	Diffuse bodembelasting stedelijk gebied	J

Bewust en actief gebruik van de ESD

De activiteit '*kunstmatige infiltratie voor de drinkwatervoorziening (ASR)*' maakt bewust en actief gebruik van de ESD waarbij de bacteriologische activiteit zodanig afneemt na bodempassage dat opgepompt water bacteriologisch veilig is als drinkwaterbron.

Bij in-situ sanering wordt gebruik gemaakt van deze ESD. Bacteriën in de ondergrond worden gestimuleerd zodat natuurlijke afbraak van specifieke verontreinigingen versneld kan plaastvinden. Deze wordt extra gestimuleerd door aanvullende maatregelen (beluchting, voedingstoffen). Uitputting van de ESD kan gebeuren als de beschikbare hoeveelheid organische stof te beperkt is, of door saneringstechnieken zoals In Situ Chemische Oxidatie (ISCO) waarbij, naast de organische verontreiniging, ook het natuurlijk organisch materiaal wordt afgebroken.

Bij het '*Beheer van terrestrische en aquatische ecosystemen'* kan het zijn dat er bewust gebruik gemaakt wordt van de ESD zoals met de aanleg van bufferstroken rond waterlopen. De ESD is bepalend voor het leveren van grondwater van specifieke chemische samenstelling voor grondwaterafhankelijke natuur. Ook speelt deze ESD een cruciale rol in de beperking van nutriëntenvracht vanuit agrarische gebieden. Helaas is die vracht echter zo groot dat het reinigend vermogen niet altijd toereikend is voor de natuurgebieden, waardoor eutroof grondwater de kwelafhankelijke natuur kan bereiken. De hoge bacteriële biodiversiteit in terrestrische natuurgebieden kunnen zorgen voor een optimaal functioneren van de ESD. (Zie Broers en Lijzen, 2014, Factsheet Beheer terrestrische en aquatische ecosystemen)

Passief gebruik van de ESD

Activiteiten die passief gebruik maken van deze ecosysteemdienst zijn de activiteiten die baat hebben bij de afbraak of omzetting van stoffen met wijdverbreide verontreinigende emissies: voornamelijk drinkwateronttrekking, reservering strategische grondwatervoorraden, irrigatie uit grondwater, proceswater, toepassen van meststoffen en bestrijdingsmiddelen.
Wat betreft '*drinkwateronttrekking'* is zowel het proces van afbraak van chemische als van microbiologische verontreinigingen van belang. Grondwater is door het gebruik van deze ESD zo'n betrouwbare en constante bron van drinkwater. Om microbiologisch veilig water te kunnen onttrekken gelden minimale eisen voor de duur van de bodempassage. Voor virussen bedraagt deze 1-2 jaar. Ook voor de chemische waterkwaliteit heeft de ondergrond een belangrijke reinigende functie. Nitraat is hiervan een duidelijk voorbeeld. In bodem en ondergrond kan nitraat worden gedenitrificeerd. De mate waarin dit plaatsvindt, wordt bepaald door de geochemische omstandigheden, zoals de dikte van de onverzadigde zone en de aanwezigheid van organische stof of pyriet (FeS_2) . (Zie Broers en Lijzen, 2014, factsheet winning grondwater voor drinkwater).
Voor de activiteit '*reservering strategische grondwatervoorraden'* en de activiteit '*proceswater'* (koelvloeistof, procesmiddel, oplosmiddel of

vervoermiddel) geldt dat de ESD ervoor zorgt, net als voor drinkwater, dat de bron van grondwater betrouwbaar en constant is.
Ook *'irrigatie uit grondwater/beregening'* maakt gebruik van deze ESD. De kwaliteit van het grondwater is vaak beter dan die van oppervlaktewater door deze ESD. Beregening uit grondwater kan leiden tot het opgebruiken van de reactiecapaciteit ; naast het wegvallen van het reinigend vermogen kunnen door waterkwaliteitsveranderingen ook juist ongewenste stoffen vanuit de ondergrond mobiliseren, zoals arseen (Zie Broers en Lijzen, 2014, factsheet 'Beregening uit grondwater').
De activiteit *'berging van (verontreinigd) sediment en afvalstoffen in zandwinputten'* kan ook gebruik maken van de ESD wanneer als gevolg daarvan onbedoeld verontreinigende stoffen infiltreren in het ondergrondsysteem. In sommige gevallen zal de ondergrond een deel van de verontreinigingen kunnen afbreken, waarbij het functioneren van de ESD op de lange termijn kan verminderen. Dit zal ook het geval zijn voor de diffuse bodembelasting in het stedelijk gebied.
De impact van de activiteit *'Toepassen van meststoffen en bestrijdingsmiddelen'* op de kwaliteit van het grondwater wordt verminderd door de ESD (Denitrificatie, reductie van sulfaat-zwavel en vastlegging in sulfiden, vastleggen van fosfaat). Al in de onverzadigde zone kan nitraat worden omgezet naar stikstofgas in reactie met in de bodem beschikbaar organisch materiaal. De reactiecapaciteit van de ondergrond in Nederland is over het algemeen groot door de relatief hoge gehaltes organische stof en (ijzer)sulfide en is verschillend per gebied en in de diepte. Uitputting van die reactiecapaciteit gaat langzaam. De negatieve impact is veel groter voor meststoffen dan voor bestrijdingsmiddelen omdat de laatste in kleinere concentraties aanwezig zijn (voor meer informatie zie factsheet Toepassen van meststoffen en bestrijdingsmiddelen in Broers en Lijzen, 2014).
De ecosysteemdienst '*Reinigend vermogen van de ondergrond*' (ESD3) kan ook gezien worden als ondersteunend aan de andere ecosysteemdiensten zoals:

- Beschikbaarheid van voldoende water met een bepaalde kwaliteit (ESD1)
- Voorzien in watervoerendheid en waterkwaliteit oppervlaktewater (ESD8), wat betreft de waterkwaliteit
- Voeding van grondwaterafhankelijke natuur (ESD9)

3 Relaties tussen de Ecosysteemdienst, activiteiten en maatregelen

3.1 Hoe wordt de Ecosysteemdienst beïnvloed?

Een overzicht van de beïnvloeding van de ESD *'Reinigend vermogen van de ondergrond'* door verschillende activiteiten staat weergegeven in tabel 2. De invloed van de verschillende activiteiten op de ESD wordt in onderstaande tekst besproken per type invloed (negatief, onbekend, positief).

Tabel 2: Beïnvloeding van ecosysteemdiensten door de activiteiten in de boven- en ondergrond.
+ = positieve invloed van activiteit op het in stand houden of vergroten van de ESD
- = negatieve invloed van activiteit op ESD (vermindering dienst)
+/- zowel positieve als negatieve invloed mogelijk, afhankelijk van tijdsschaal of invalshoek
O = geen positieve en/of negatieve invloed van de activiteit
?= onbekend

Activiteit	**Specifieke activiteit**	ESD
Onttrekkingen	Drinkwater	o
	Irrigatie uit grondwater	-
	Proceswater	o
	Koelwater	o
	Bouwactiveiten	o
	Onttrekking tbv beheer en saneringen grondwaterverontreinigingen	o
Opslag	Opslag van regenwater voor proceswater	o
	Warmte en koude opslag	?
	Berging van (verontreinigd) sediment of afvalstoffen in zandwinputten	-
	Opslag radio-actief afval	o
	CO_2-opslag	o
	Brijnlozingen	-
	Kunstmatige infiltratie voor drinkwaterproductie (ASR)	-
Reserveringen	Bewaren van biodiversiteit/habitat van de ondergrond	+
	Bewaren van cultuurhistorische en archeologische waarden	o
	Reservering strategische grondwatervoorraden	o
Winning grondstoffen	Grind, zand en klei	o
	Bruinkoolwinning Naar Duits voorbeeld	-
	Zoutwinning	o
	Schaliegaswinning (incl. gebruik grondwater als proceswater)	-
	Olie- en gaswinning	-
	Geothermie	o
Ruimtebeslag	Ondergrondse infrastructuur	o
	aanpak grondwaterverontreiniging, incl. in-situ saneringen	-
Peilbeheer	Peilbeheer laag Nederland	o
	Peilbeheer hoog Nederland	o
Bovengrondse activiteiten	Beheer terrestrische/aquatische ecosystemen	o
	Recreatie (sportvisserij, natuurbeleving, thermae2000)	o
	Bodemafdichting	-
	Toepassen van meststoffen en bestrijdingsmiddelen	-
	Diffuse bodembelasting stedelijk gebied	-

Elf van de 31 activiteiten die in tabel 2 genoemd worden beïnvloeden de ESD op een negatieve wijze, omdat ze de toevoer van verontreinigende stoffen naar de ondergrond direct of indirect vergroten en daarmee een aanspraak doen op de beschikbare reactiecapaciteit. Dit geldt voor bijvoorbeeld '*Irrigatie uit grondwater'*, '*Aanpak grondwaterverontreinigingen'*, '*Brijnlozingen'* en '*Toepassen van meststoffen en bestrijdingsmiddelen*' (zie factsheets uit Broers en Lijzen, 2014).
Bij de activiteit '*Warmte koude opslag'* is de invloed onbekend. Bij lekkage uit een gesloten systeem kan het functioneren van de ESD worden verminderd. Maar ook kan juist de afbraak van verontreinigingen worden gestimuleerd door het mengen, verplaatsen en verdunnen van de verontreiniging. (zie factsheet warmte koude opslag uit Broers en Lijzen, 2014)
Slechts één activiteit uit tabel 2, '*Bewaren van biodiversiteit/habitat van de ondergrond'*, heeft een positieve invloed op het in stand houden en vergroten van de Ecosysteemdienst omdat deze activiteit er voor zorgt dat de redoxtoestand van de ondergrond en het bacteriële leven beschermd worden.
De ESD 'R*einigend vermogen van de ondergrond'* kan, afhankelijk van de activiteit en de natuurlijk optredende fysische, chemische en biologische processen op verschillende geografische en tijdschalen beïnvloed worden. Er is nog weinig kennis beschikbaar over de mate van uitputting van de ESD door de verschillende activiteiten en de tijdschaal waarop. Bijvoorbeeld voor de combinatie van grondwateronttrekkingen en brijnlozing is de verwachting dat een deel van de reactiecapaciteit opgebruikt zou worden met uitputting op de langere termijn. Over de invloed van deze activiteit op de ESD is verder onderzoek nodig (zie factsheet 'Onttrekken grondwater icm brijnlozingen' uit Broers en Lijzen, 2014). Momenteel vindt er geen structurele monitoring plaatst om dit goed in kaart te kunnen brengen. Ook voor de activiteit 'Toepassen van meststoffen en bestrijdingsmiddelen geldt dat er uitputting verwacht wordt van de reactiecapaciteit (Aa et al. 2003), met een negatieve impact die veel groter is voor meststoffen dan voor bestrijdingsmiddelen, vanwege de veel lagere stof concentraties (zie factsheet 'Toepassen van meststoffen en bestrijdingsmiddelen' uit Broers & Lijzen, 2014).

3.2 Maatregelen om de ESD te optimaliseren

De ecosysteemdienst *'Reinigend vermogen van de ondergrond'* kan geoptimaliseerd worden door maatregelen die de natuurlijk optredende fysische, chemische en biologische processen bewaren of stimuleren. Deze maatregelen zijn ook afhankelijk van wat het belangrijkste concentratie-verlagende proces is of moet zijn; verdunning, fysieke filtering, adsorptie, immobilisatie, afbraak zoals beschreven in hoofdstuk 1.2.
Als het om natuurlijke afbraak gaat van grondwaterverontreinigingen (zoals vooral aanwezig in stedelijk gebied), dan kunnen de volgende technieken gebruikt worden om de ESD te stimuleren.

- Het toevoegen van substraat om biologische afbraak (anaeroob) te stimuleren
- Specifieke technieken voor aerobe afbraak zoals air-sparging.

Als het gaat om het toepassen van meststoffen en bestrijdingsmiddelen dan kunnen bemestings-management (timing), het toevoegen of anderszins op peil brengen van het organisch stofgehalte, en peilbeheer ervoor zorgen dat de ESD optimaal functioneert en de dienst kan leveren. Hierbij is ook van belang dat de ondergrond toegankelijk blijft voor infiltrerend water, bodemverdichting als gevolg van het gebruik van te zware landbouwmachines heeft daarom een negatief effect.

3.3 Toekomstige trends die invloed hebben op de ESD

Verdere intensivering van de landbouw, ook - of misschien wel vooral - voor de biobased economy, kan leiden tot extra gebruik van meststoffen en bestrijdingsmiddelen, die het systeem belasten. Het telen van andere gewastypen kan weer van invloed zijn op de waterhuishouding en dus ook op de (grond)waterkwaliteit. Beide ontwikkelingen kunnen de reactiecapaciteit beïnvloeden door deze, naar verwachting, sneller op te maken.
Daarnaast kan in landbouw gebieden klimaatverandering ook een rol spelen. Deze heeft invloed via de veranderende neerslagpatronen, die in het algemeen de balans tussen infiltratie en afstroming ongunstig beïnvloeden. Indien neerslag vaker in korte heftige periodes valt zal dit nadelig zijn voor de ESD *'Reinigend vermogen van de ondergrond'* omdat verwacht wordt dat meer water direct naar het oppervlaktewater zal afstromen en minder water met verontreinigingen daadwerkelijk de ondergrond zal infiltreren. Er zal dan in mindere mate gebruik gemaakt worden van de dienst.
Ook in stedelijk gebied kan als gevolg van klimaatverandering en toenemende verstedelijking (areaal afgedekte bodem) de ESD in mindere mate benut worden. In potentie blijft het aanbod van de dienst dan wel bewaard. Maar omdat minder water kan infiltreren in de ondergrond zal meer ongezuiverd water direct in het oppervlaktewater uitstromen of gezuiverd moeten worden in een RWZI.
Gezien het toenemende bewustzijn en maatregelen om industriële en stedelijke immissies te beperken, zou de aanspraak hiervan op het reinigend vermogen van de ondergrond stabiel tot afnemend kunnen worden. Nieuwe gevallen van verontreiniging moeten op grond van de Wet Bodembescherming (Wbb) meteen aangepakt worden. Maar onder andere in de context van gebiedsgericht grondwaterbeheer (GGGWB) zal er zeker nog gedurende langere tijd van de ESD gebruik gemaakt worden. Dit is nu voornamelijk nog passief gebruik, maar meer actieve benutting valt voor de toekomst te verwachten als GGGWB zich verder ontwikkelt.

4 Beschikbare data over de ESD

In ANK, Atlas Natuurlijk Kapitaal (http://www.atlasnatuurlijkkapitaal.nl/), zal de *potentie voor denitrificatie van het bovenste grondwater* gekarteerd worden als voorbeeld indicator voor deze ESD. De kaart wordt een landsdekkende puntenkaart die de gemiddelde redoxtoestand in het bovenste filter van de waarnemingsput weergeeft. Waar geen potentie is voor denitrificatie zal de verwachte impact van bemesting op het grondwater en oppervlakte water groter zijn.

Daarnaast zijn er meer databronnen die achterliggende informatie kunnen leveren over deze ESD, zoals een landsdekkende database van de regionale grondwatersamenstelling in de geotop van Nederland uit 2006 (Vermooten et al. 2006). In de afgelopen jaren is ook door TNO een geochemische kartering van de ondergrond uitgevoerd voor de helft van Nederland om de reactiecapaciteit van de ondergrond in beeld te brengen (bij benadering Friesland, Groningen, Drenthe, Zeeland, Noord-Holland en Zuid-Holland, zie Vermooten et al., 2005). De rest van Nederland moet nog uitgewerkt worden. Dit werk wordt door TNO Geologische Dienst uitgevoerd met ondersteuning van Deltares.

Data en informatie over de beschikbaarheid en gebruik van de ESD in stedelijke context is vrijwel alleen beschikbaar op gevals-niveau en niet op nationaal niveau.
Ook over biotische aspecten (bacteriën) van het reinigend vermogen is ruimtelijk data of informatie nauwelijks aanwezig.

Opstellers:
Pauline van Gaans en Sophie Vermooten (Deltares, Hoofdauteurs en contactpersonen, Deltares)
Jacqueline Claessens (RIVM)
Suzanne van der Meulen (Deltares)

Referenties

- Aa M. van der et al. H.P. Broers & J. Griffioen & K. Verloop (2003). Omzetting van nitraat in de ondergrond: kunnen we daar op vertrouwen. Marke rapport 42 (WUR/CLM)
- Appelo, C. A. J. & Postma, D. (2005). *Geochemistry, groundwater and pollution*. CRC Press, 2005.
- Broers en Lijzen, 2014. Afwegingen bij het gebruik van grondwater en de ondergrond. Een verkenning op basis van ecosysteemdiensten. Deltares rapport 1207762-016, RIVM-rapportnr. 607710003/2014.
- Domenico, P. A., & Schwartz, F. W., 1998. Physical and chemical hydrogeology , Second edition. Wiley. New York.
- Griffioen, J., Klein, J., & van Gaans, P. F. M., 2012. Reaction capacity characterization of shallow sedimentary deposits in geologically different regions of the Netherlands. *Journal of contaminant hydrology*, *127*(1), 30-46.
- Salomons, W., & Stigliani, W.M., 1995. Biogeodynamics of Pollutants in Soils and Sediment. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
- Vermooten, J.S.A., Vasak, L., Griffioen, J., Klaver, G.T., Vernes, R.W. and Weerts, H.J.T., 2005.
  Afbakening van het topsysteem voor de kartering van de reactiviteit van de Nederlandse ondergrond. NITG Rapport 05-121-A, TNO Bouw en Ondergrond.
- Vermooten, J.S.A., Maring, L., van Vliet, M.E., Griffioen, J. 2006. Landsdekkende, geologische karakterisering van de regionale grondwatersamenstelling in de geotop van Nederland. DATA RAPPORT. TNO rapport 2007-U-R0021/A. TNO Bouw en Ondergrond.

Bijlage 4

Ecosysteemdienst 4 Draagkracht

Inhoud

1 Beschrijving van de Ecosysteemdienst — 73
1.1 Korte definitie — 73
1.2 Beschrijving van het systeem — 73

2 Gebruik van de Ecosysteemdienst — 77

3 Relaties tussen de Ecosysteemdienst, activiteiten en maatregelen — 79
3.1 Hoe wordt de Ecosysteemdienst beïnvloed? — 79
3.2 Maatregelen om de ESD te optimaliseren — 80
3.3 Toekomstige trends die invloed hebben op de ESD — 81

4 Beschikbare data over ESD — 82

Belangrijkste conclusies en aanbevelingen:

Er is een verschil tussen draagkracht vanuit landbouwkundig en vanuit civieltechnisch perspectief. Vanuit beide perspectieven is draagkracht een niet-uitputbare continue, regulerende dienst. Inzicht de ecosysteemdienst is belangrijk, omdat deze over het gehele Nederlandse oppervlakte, zowel in urbane als rurale gebieden, aangesproken wordt. *Bodemtype* (landbouwkundig) en *opbouw van de ondergrond* (civieltechnisch) is de belangrijkste factor voor de draagkracht. Informatie hierover is te vinden op bodemkaarten en geologische kaarten. Daarnaast is het bodemvochtgehalte, een dynamische parameter, van belang voor de draagkracht. Door peilbeheer kan de mens het bodemvochtgehalte beïnvloeden.

De draagkracht vanuit civieltechnisch perspectief kan verzaken, door paalrot, maar kan dan door de mens worden hersteld. En in veengebieden kan de draagkracht geleidelijk verslechteren door inklinking en verdwijning van organisch materiaal door oxidatie. In principe kan ook hier de draagkracht worden hersteld.

1 Beschrijving van de Ecosysteemdienst

1.1 Korte definitie

Onder draagkracht wordt hier verstaan: de mate waarin de bodem in staat is objecten te dragen/ondersteunen en als gevolg hiervan processen optimaal te laten verlopen. Met 'objecten' wordt gedoeld op gebouwen, wegen, machines, mensen, dieren en 'overige objecten' (bomen, fonteinen, etc.). Met 'processen' wordt gedoeld op wonen, werken, vrijetijdbesteding en landbouwactiviteiten. Naast de 'natuurlijke' draagkracht, die bodem en ondergrond van zichzelf hebben, wordt in bepaalde gevallen extra draagkracht gecreëerd via het beheer en inrichting, bijvoorbeeld met drainagesystemen en peilbeheer (beïnvloeding van de hydrologie), (hei)palen tot op diepere zandlagen, ankers, en verharding van de toplaag.

1.2 Beschrijving van het systeem

Er is een verschil tussen draagkracht vanuit civieltechnisch en vanuit landbouwkundig perspectief. Vanuit de civiele techniek gaat het doorgaans om het ondersteunen van statische zaken als gebouwen, wegen, tunnels, kabels, leidingen of objecten, die een continue aanspraak op de draagkracht maken, via paalfundatie of aanleg op staal (strook of plaat op zand). Vanuit de landbouw gaat het meestal om machines en dieren, die die zich verplaatsen over de landbouwpercelen en op verschillend momenten aansprak maken op de draagkracht van een gedeelte van een terrein. Problemen en kosten kunnen ontstaan door te geringe draagkracht. Instabiliteit kan leiden tot verzakking of wegdrijven van gebouwen en 'overige objecten'. Ingrepen in de ondergrond, zoals winning van grondstoffen, kunnen leiden tot verzwakking van de draagkracht. Landbouwkundig leidt een te geringe draagkracht (door te zware machines en vertrapping bij beweiding) tot afwenteling op andere ecosysteemdiensten, zoals aantasting van de bodemstructuur, verminderde bodemvruchtbaarheid, slechte waterregulatie (infiltratie, watervoerendheid) en verminderde klimaatfuncties van de bodem en ondergrond en suboptimale landbouwproductie (vertrapping bij beweiding en vervorming bij berijding).
In de civiele techniek wordt door sondering de draagkracht vastgesteld. Dit gebeurt door de weerstand en kleef te meten (in MPa (megapascal), overeenkomstig met 1000 kN/m2) met een conus. Vervolgens kan op basis daarvan een zettingsberekening worden uitgevoerd, volgens Eurocode 7. Deze bepaalt het benodigde fundatietype. In de landbouw worden geen routinematige draagkrachtmetingen uitgevoerd, maar vaak wordt gebruik gemaakt van kennis en ervaring. In veel gevallen is de draagkracht in civieltechnische toepassingen 'maakbaar', terwijl die vanuit landbouwkundige toepassingen grotendeels geaccepteerd moet worden.

Zowel de natuurlijke draagkracht, als de extra draagkracht (van de ondergrond, via hulpmiddelen) en de stabiliteit van het systeem, is sterk afhankelijk van grondsoort/ opbouw van de ondergrond, hydrologie, en de uitvoering van de ingreep zelf (bijv. materiaal en dimensie van de heipaal). In het onderstaande wordt een overzicht gegeven van factoren die de draagkracht beïnvloeden. Hierbij zijn factoren die de draagkracht

direct beïnvloeden en factoren die invloed hebben op andere factoren die de draagkracht beïnvloeden (indirecte beïnvloeding). De beschreven factoren, welke onderling (sterk) afhankelijk zijn, worden in onderstaande beschreven onder bodemfactoren en beheersfactoren.

Bodemfactoren:

1. Het *bodemtype* is de doorslaggevende factor voor de natuurlijke draagkracht, vanuit landbouwkundig oogpunt. Vanuit civieltechnisch oogpunt is *de opbouw van de ondergrond* van belang. Zand heeft bijvoorbeeld een goede draagkracht, klei veel minder en veen een beperkte draagkracht. Daarnaast beïnvloedt het bodemtype een aantal andere factoren die de draagkracht bepalen, namelijk het bodemvochtgehalte, de gashuishouding, het vermogen tot capillaire opstijging en de groei van vegetatie.
2. Het *bodemvochtgehalte* is eveneens een belangrijke factor voor de draagkracht. De hydrologie bepaalt hoe water in de bodem opgeslagen en getransporteerd wordt (door de zwaartekracht en onderdruk in de poriën van de bodem in neerwaartse richting; door verdamping, transpiratie via planten en onderdruk in opwaartse richting). Het bodemvochtgehalte heeft sterke invloed op de draagkracht. De draagkracht is geringer bij grote droogte en volledige verzadiging, doordat er geen samenhang tussen de bodemkorrels is door gebrek, respectievelijk overvloed aan water. Daar tussenin is een toestand waarin de zuigspanning in de bodem het korrelskelet ondersteunt en de draagkracht optimaal is. De relatie tussen vochtgehalte en draagkracht is met name van belang vanuit agrarisch perspectief. Vanuit civieltechnisch perspectief wordt vaak gebruik gemaakt van de draagkracht op grotere diepte, met name in zandlagen, in de verzadigde zone. Omdat aanvoer van water, berging, transport en verdamping dynamische processen zijn, verandert het vochtgehalte voortdurend. De *gashuishouding* is sterk verbonden aan het bodemvochtgehalte. Globaal kan worden gesteld dat gas de plek inneemt van vrijgekomen porieruimtes ten gevolge van afvoer van water uit de bodem.
3. De *dichtheid* is een belangrijke factor voor de draagkracht. De dichtheid bepaalt mede in hoeverre bodemmateriaal samendrukbaar is. Het porievolume zal bij toenemende dichtheid immers afnemen, het aantal contactpunten tussen de korrels zal toenemen, waardoor de wrijving tussen de korrels onderling en de schuifweerstand toenemen. Dichtheid is primair een inherente eigenschap van een specifiek bodemtype, maar kan door de omstandigheden worden beïnvloed. Door bodembewerking en biologische activiteit kan de dichtheid worden verminderd. Door walsen, bodemverdichting en heien kan de dichtheid juist worden verhoogd.
4. De bodemstructuur bepaalt eveneens de mate van samendrukbaarheid. Zo is grind, ondanks een hoge porositeit, nauwelijks samendrukbaar. Ook aggregaatvorming, oftewel het samenklonteren van bodemdeeltjes tot grote granulaten, bevordert de draagkracht. In een biologisch gezonde bodem vindt aggregatie plaats. Door intensieve grondbewerking kan aggregatievorming worden verstoord. Dit speelt geen rol vanuit civieltechnisch oogpunt. In landbouwgebieden is de opbouw en verstoring van aggregaten een continu proces.
5. De *grondwaterstand* is dynamische factor en een inherente eigenschap van een bodem in een specifieke setting. De

grondwaterstand wordt bepaald door de natuurlijke aan- en afvoer van water in een specifiek gebied, de aanwezigheid van oppervlaktewateren en eventuele menselijke manipulatie, zoals onttrekking (polders) en aanvoer (kunstmatige infiltratie), en de doorlatendheid van de bodem. De grondwaterstand heeft grote invloed op het bodemvochtgehalte en daarmee op de draagkracht. Dit is met name van belang voor draagkracht vanuit agrarisch perspectief. In sommige gedeelten van Nederland, met name in de westelijke helft van Nederland, heeft de grondwaterstand direct invloed op de draagkracht, omdat daar het water het gehele jaar dicht genoeg bij de oppervlakte kan komen. Vanuit civieltechnisch oogpunt is het van belang voor paalrot, welke met name ontstaat in geval van lage grondwaterstanden en houten palen, en de draagkracht sterk kan verminderen of zelfs ondermijnen en in verschilzettingen kan resulteren.

6. De *capillaire opstijging* is een inherente eigenschap van bodemmateriaal en geeft aan hoe ver water door capillaire krachten boven het 'normale niveau van de grondwaterspiegel' (het piëzometrisch niveau) uit kan stijgen. Voor grover zand is dit hooguit enige centimeters, terwijl dit voor klei vele decimeters kan zijn. Het piëzometrisch niveau in combinatie met capillaire opstijging geeft de hoogte weer van het volledig met water gevulde bodemvolume. De afstand van dit bodemvolume in de ondergrond tot het maaiveld beïnvloedt het vochtgehalte in de bovenste laag van de bodem en daarmee de draagkracht. Dit is alleen van belang vanuit landbouwkundig perspectief.
7. Het *organische stofgehalte* bepaalt hoeveel de bijdrage is van organische componenten ten opzichte van de minerale delen van de bodem. Doordat organische stof samendrukbaar is, neemt de draagkracht af bij hogere organische stofgehalten. Met name in geval van veengronden, grotendeels bestaand uit organische stof, is de draagkracht beperkt. Vanuit civieltechnisch perspectief is daarom het organische stofgehalte via het bodemtype van belang. Vanuit landbouwkundig oogpunt speelt ook de hoeveelheid organische stof in de bovengrond een kleine rol voor de draagkracht.
8. De aanwezigheid van bodemvreemde materialen in de bodem (artefacten) kan een grote impact hebben op de draagkracht. De meeste materialen zijn steenachtig (puin, slakken, sintels) en verhogen de draagkracht. Teerachtige artefacten en kunststoffen zijn vaak beter samendrukbaar en kunnen de draagkracht verminderen, maar kunnen ook bijdragen aan verbinden van bodemdeeltjes en daarmee de draagkracht verhogen. Alhoewel dit ook van belang is voor de civieltechnische draagkracht is het van groter belang vanuit landbouwkundig oogpunt. In landbouwgebieden wordt de draagkracht vaak bevorderd, zeker op landbouwwegen en erven, door het toevoegen van steenachtige materialen, zoals puin.
9. De *helling van de bodem* beïnvloedt de grondwaterstand en het bodemvochtgehalte. De helling beïnvloedt tevens het type en de omvang van de vegetatie. Dit is belangrijker voor de draagkracht vanuit landbouwkundig perspectief, minder vanuit civieltechnisch oogpunt.

Beheersfactoren:

10. Het *bodembeheer*, bijvoorbeeld de frequentie en wijze van ploegen, beïnvloedt de dichtheid, de verdeling van organische stof in de

bodem en het type en de omvang van de vegetatie. Dit is alleen van belang voor draagkracht vanuit landbouwkundig oogpunt.
11. Het *landgebruik* bepaalt het peilbeheer (en dus de grondwaterstand), transpiratie en dus de waterregulatie. Dit is alleen van belang voor draagkracht vanuit landbouwkundig oogpunt.
12. Ten gevolge van *peilbeheer* wordt in grote delen van Nederland de grondwaterstand door de mens bepaald. Dit is van groot belang zowel vanuit civieltechnisch als vanuit landbouwkundig oogpunt.
13. *Onttrekkingen* van gas, zout, grondstoffen, etc. kan leiden tot aardbevingen en kan invloed hebben op de grondwaterstromen en daarmee de draagkracht negatief beïnvloeden. Hetzelfde geldt voor lege zoutkoepels. Indien deze instorten heeft dit een enorme invloed, in het ergste geval desastreuse gevolgen, op de lokale draagkracht.

Draagkracht is een niet-uitputbare continue dienst. De draagkracht fluctueert gedurende het jaar, en soms dag, met name in landbouwgebieden, ten gevolge van grondwaterfluctuaties. De draagkracht vanuit civieltechnisch perspectief kan verzaken, doordat bijvoorbeeld door te lage grondwaterstanden houten funderingen niet meer functioneren. Dit kan door de mens worden hersteld, soms tegen hoge kosten. En in veengebieden kan de draagkracht geleidelijk verslechteren door inklinking en verdwijning van organisch materiaal door oxidatie. In principe kan ook hier de draagkracht worden hersteld. Vanuit landbouwkundig perspectief dreigt een continue afbreuk van de draagkracht ten gevolge van oxidatie, zodat het maaiveld dichter bij de grondwaterspiegel komt. Dit wordt opgevangen door grondwaterspiegelverlaging, maar dit is geen duurzame oplossing. In agrarische gebieden kan tevens inklinking van kleigronden plaatsvinden tijdens droge perioden, maar dit proces is reversibel.

2 Gebruik van de Ecosysteemdienst

Op basis van de kruistabel 1 uit Broers en Lijzen (2014; zie tabel 1), waarin aangeven wordt welke activiteiten gebruik maken van de ecosysteemdiensten, worden de volgende relevante activiteiten onderkend die gebruik maken van 'draagkracht':

- bebouwing;
- ondergrondse en bovengrondse infrastructuur;
- verharding;
- akkerbouw;
- beweiding.

Tabel 1: Relatie tussen de ecosysteemdienst 'Draagkracht' en de activiteiten (uit Broers en Lijzen, 2014).
J = activiteit maakt gebruik van de ecosysteemdienst, N = activiteit maakt geen gebruik van de ecosysteemdienst.

Activiteit	Specifieke activiteit	ESD4
Onttrekkingen	Drinkwater	N
	Irrigatie uit grondwater	N
	Proceswater	N
	Koelwater	N
	Bouwactiveiten	J
	Beheer, sanering grondwaterverontreinigingen	N
Opslag	Opslag van regenwater voor proceswater	N
	Warmte en koude opslag	N
	Berging van (verontreinigd) sediment of afvalstoffen in zandwinputten	N
	Opslag radio-actief afval	N
	CO2-opslag	N
	Brijnlozingen	N
	Kunstmatige infiltratie voor drinkwaterproductie (ASR)	N
Reserveringen	Bewaren van biodiversiteit/habitat van de ondergrond	N
	Bewaren van cultuurhistorische en archeologische waarden	N
	Reservering strategische grondwatervoorraden	N
Winning grondstoffen	Grind, zand en klei	J
	Zoutwinning	N
	Schaliegaswinning (incl. gebruik grondwater als proceswater)	N
	Olie- en gaswinning	N
	Geothermie	N
Ruimte beslag	Ondergrondse infrastructuur	J
	in-situ saneringen	N
Peilbeheer	Peilbeheer laag Nederland	N
	Peilbeheer hoog Nederland	N
Bovengrondse activiteiten	Beheer terrestrische/aquatische ecosystemen	N
	Recreatie (sportvisserij, zwemwater, natuurbeleving, thermae2000)	N
	Bodemafdichting	J
	Toepassen van meststoffen en bestrijdingsmiddelen	J
	Diffuse bodembelasting stedelijk gebied	N

Bebouwing, ondergrondse infrastructuur en verharding zijn civieltechnische activiteiten. Bebouwing is direct afhankelijk van de draagkracht. Op kleine schaal, en eventueel tegen hogere kosten ook op grotere schaal, kan de draagkracht worden verbeterd door heien, waarbij gebruik wordt gemaakt van de draagkracht op grotere diepte. Vrijwel iedere burger woont in een huis, werkt vaak in een gebouw en maakt gebruik van vele andere gebouwen om te winkelen,

administratieve handelingen te verrichten, enz. Daarom profiteert vrijwel iedere Nederlander via de activiteit ‘bebouwing’ van de ecosysteemdienst ‘draagkracht’. Een soortgelijke beredenering geldt voor ‘verharding’. Deze activiteit staat voor binnenwegen en snelwegen, parkeerterreinen, havens, etc. Al deze activiteiten, waar iedere burgen profijt van heeft, maken gebruik van de ecosysteemdient ‘draagkracht’.
‘Ondergrondse infrastructuur’ betreft kelders, tunnels, parkeergarages, etc. De draagkracht bepaalt de mogelijkheden en beperkingen, maar kan ook voor deze activiteit worden verbeterd door heien. De ‘ondergrondse infrastructuur’ wordt in Nederland steeds drukker. Het is ook een activiteit waar iedere Nederlander direct of indirect gebruik van maakt.
Akkerbouw en beweiding zijn agrarische activiteiten. Draagkracht bepaalt de mogelijkheden en beperkingen voor een optimaal agrarisch beheer. Een verschil is dat voor ‘akkerbouw’ vaak zwaardere machines nodig zijn en er hogere eisen aan de draagkracht gesteld moeten worden. Voor beweiding geldt specifiek dat vee op weilanden moet kunnen resideren, zonder onherstelbare schade door hoeftrap aan te richten.

3 Relaties tussen de Ecosysteemdienst, activiteiten en maatregelen

3.1 Hoe wordt de Ecosysteemdienst beïnvloed?

Een overzicht van de beïnvloeding van de ESD door verschillende activiteiten staat weergegeven in tabel 2. De invloed van de verschillende activiteiten op de ESD wordt in onderstaande tekst besproken per hoofdactiviteit.

Tabel 2: Beïnvloeding van ecosysteemdiensten door de activiteiten in de boven- en ondergrond.
+ = positieve invloed van activiteit op het in stand houden of vergroten van de ESD
- = negatieve invloed van activiteit op ESD (vermindering dienst)
+/- = zowel positieve als negatieve invloed mogelijk, afhankelijk van tijdsschaal of invalshoek
O = geen positieve en/of negatieve invloed van de activiteit
?= onbekend
(?) achter een ander teken zoals een +(?) dan is het effect onzeker.

Activiteit	Specifieke activiteit	ESD4
Onttrekkingen	Drinkwater	o
	Irrigatie uit grondwater	o
	Proceswater	o
	Koelwater	o
	Bouwactiveiten	+/-
	Onttrekking tbv beheer en saneringen grondwaterverontreinigingen	o
Opslag	Opslag van regenwater voor proceswater	o
	Warmte en koude opslag	o
	Berging van (verontreinigd) sediment of afvalstoffen in zandwinputten	o
	Opslag radio-actief afval	o
	CO_2-opslag	o
	Brijnlozingen	o
	Kunstmatige infiltratie voor drinkwaterproductie (ASR)	o
	NWRM	
Reserveringen	Bewaren van biodiversiteit/habitat van de ondergrond	o
	Bewaren van cultuurhistorische en archeologische waarden	o
	Reservering strategische grondwatervoorraden	o
Winning grondstoffen	Grind, zand en klei	-
	Bruinkoolwinning Naar Duits voorbeeld	-
	Zoutwinning	-
	Schaliegaswinning (incl. gebruik grondwater als proceswater)	?
	Olie- en gaswinning	-
	Geothermie	o
Ruimtebeslag	Ondergrondse infrastructuur	o
	aanpak grondwaterverontreiniging, incl. in-situ saneringen	o
Peilbeheer	Peilbeheer laag Nederland	+/-
	Peilbeheer hoog Nederland	+/-
Bovengrondse activiteiten	Beheer terrestrische/aquatische ecosystemen	o
	Recreatie (sportvisserij, natuurbeleving, thermae2000)	o
	Bodemafdichting	o
	Toepassen van meststoffen en bestrijdingsmiddelen	o
	Diffuse bodembelasting stedelijk gebied	o

Bebouwing is aangepast op de draagkracht en de draagkracht wordt ten gevolge van heien aangepast aan de bebouwing. In extremere gevallen vindt bebouwing plaats op piepschuim of wateroppervlakken. In de regel geldt dat de bouwactiviteit en de draagkracht met elkaar in evenwicht zijn. Omdat bebouwde grond niet gebruikt kan worden voor andere bovengrondse doeleinden, wordt er verder op bebouwde grond geen aanspraak op de draagkracht gemaakt. Winning van grondstoffen (grind, zand, klei; bruinkoolwinning; zoutwinning; schaliegaswinning; olie- en gaswinning) vermindert de draagkracht. Hierdoor kunnen in bewoonde gebieden scheuren in huizen en wegen optreden.

De grondwaterstand is een belangrijke parameter voor de draagkracht. Dus met peilbeheer kan de mens de draagkracht in directe zin beïnvloeden. In stedelijke gebieden worden in enkele gevallen vaste waterpeilen gehanteerd, enerzijds om wateroverlast (natte kelders) te voorkomen en anderzijds om rotting van houten funderingen tegen te gaan. Paalrot (bij houten funderingen) en verschilzetting (bij funderingen op staal) treedt op bij te lage grondwaterstanden. In agrarische gebieden worden lage waterpeilen in het winterseizoen gerealiseerd, zodat hevige pieken in regenval tijdelijk geborgen en snel afgevoerd kunnen worden. In de zomer worden, waar het kan, juist hogere waterpeilen gehanteerd, door het inlaten van water, zodat voldoende water voor gewassen beschikbaar is. Vooral voor gevoelige gewassen zoals bloembollen is een strikt peilbeheer noodzakelijk om schade door een te hoog vochtgehalte te voorkomen. De natuurfunctie in laag Nederland (natte natuur) vraagt juist om hoge waterpeilen gedurende het hele jaar. Dit heeft tot gevolg dat natuurgebieden vaak een ander peil hebben dan de omringende landbouwgebieden. In natuurgebieden is een hoge draagkracht ondergeschikt aan andere ecosysteemdiensten. De intensiteit van berijding voor natuurbeheer is veel lager dan de intensiteit voor landbouwkundige activiteiten.

3.2 Maatregelen om de ESD te optimaliseren

Vanuit civieltechnisch oogpunt kan met behulp van heien aanspraak worden gemaakt op de draagkracht op grotere diepten. Hiermee gaan echter aanzienlijke kosten gepaard. Bij onttrekkingen van gas, zout, grondstoffen, etc. dient rekening gehouden te worden met de invloed op de draagkracht en op grondwaterstromen, die de draagkracht beïnvloeden. Tevens dient aandacht te zijn voor instortingsgevaar van lege zoutkoepels.
Vanuit landbouwkundig oogpunt geldt dat een aantal van de in paragraaf 1.2 genoemde factoren die de draagkracht beïnvloeden zijn gegeven door de natuur. Dit geldt voor bodemtype/opbouw van de ondergrond, de bodemvochtgehalte- en gasregulatie en de helling. Een aantal andere factoren zijn door middel van bodemmanagement te beïnvloeden. Dit betreft de dichtheid, de hoeveelheid organische stof en de mate van aggregatie. Verder kan de toevoeging van bodemvreemde materialen en aanleggen van specifieke vegetatie de draagkracht aanzienlijk verbeteren.
De belangrijkste factoren die de draagkracht beïnvloeden zijn bodemtype/ opbouw van de ondergrond en het bodemvochtgehalte. Bodemtype/ opbouw van de ondergrond is een gegeven. De belangrijkste door de mens te manipuleren factor die grote invloed heeft op de draagkracht is de grondwaterstand en daarmee de vochthuishouding. Alhoewel de grondwaterstand een inherente

eigenschap van een bodem in een specifieke setting is, kan deze in sommige gevallen door peilbeheer worden beïnvloed. Draagkracht is dan ook een van de criteria die worden gehanteerd bij het vaststellen van het optimale peil.

3.3 Toekomstige trends die invloed hebben op de ESD

Een trend vanuit civieltechnisch perspectief in Nederland is een toenemende graad van bebouwing en verharding na de Tweede wereldoorlog. Een gevolg is dat er meer gebouwd zal moeten gaan worden in gebieden die qua draagkracht minder geschikt zijn. Als gevolg zal er dus meer geïnvesteerd moeten worden in verbetering van draagkracht door heien en peilbeheer. Een zelfde beredenering geldt voor bebouwing in de Nederlandse ondergrond, een fenomeen dat sterk toeneemt.
Ten gevolge van klimaatverandering kunnen de grondwaterstanden in de toekomst stijgen of dalen. Dit kan negatieve gevolgen hebben voor de draagkracht, vanuit landbouwkundig en civieltechnisch opzicht.

4 Beschikbare data over ESD

Er zijn diverse kaarten waarop de draagkracht vanuit civiel-technisch perspectief is weergeven op stadsniveau (bijvoorbeeld Gemeente Dordrecht, 2014) en op provincieniveau (bijvoorbeeld Provincie Fryslân, 2014). In DANK- (Digitale Atlas Natuurlijk Kapitaal-)kader worden kaarten met funderingskosten geproduceerd.
Een belangrijke bron van informatie voor wat betreft de draagkracht in Nederland vanuit landbouwkundig perspectief is de bodemkaart (tot 1,2 m). Hiervan zijn verschillende varianten, die op verschillende niveaus het bodemtype weergeven (Wageningen UR, 2014a). Vanuit civieltechnisch oogpunt gaat het om 'een aantal meters' tot 'tientallen meters'. In dit kader zijn de geologische kaarten van belang. Veel informatie over de opbouw van de ondergrond is ontsloten via het DINO-loket (TNO, 2014). In geval van gebrekkige civieltechnische draagkracht kan er toch sprake zijn van bebouwing, waarbij de draagkracht geschikt gemaakt wordt voor de betreffende bouwactiviteit. Dat is bijvoorbeeld het geval van uitbreiding van steden en dorpen in laag-Nederland, zelfs in veengebieden.

Ook in landbouwgebieden zal het grondwaterpeil in veel gevallen worden gemanipuleerd door peilbeheer, drainage, infiltratie en irrigatie. Een beeld van de natuurlijke waterstanden kan worden verkregen vanuit kaarten waarop de grondwatertrappen aangegeven zijn, zoals de kaart van de grondwaterdynamiek (Gd-kaart), waarin een continue indeling van de gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG), gemiddelde voorjaars grondwaterstand (GVG) en gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG) wordt gegeven (Wageningen UR, 2014b). Bovendien kunnen de gemiddeld hoogste en laagste grondwaterstanden worden berekend met modellen zoals het Nationaal Hydrologisch Instrumentarium (NHI; Snepvangers et al., 2008; Hoogewoud et al., 2013a; 2013b) en de hydrologische component van het modelinstrumentarium Stone V2.3 voor nutriëntenuitspoeling (Bakel et al., 2008).
Een factor die in landbouwkundige gebieden ook nog aanzienlijk bij kan dragen aan de draagkracht is de aanwezigheid van bodemvreemde materialen (artefacten), zoals puin en sintels. Hiervan is echter geen landelijk beeld beschikbaar.

Opstellers:
F. Swartjes (RIVM; contactpersoon),
J. Buma (Deltares)

Literatuur

- Bakel, P.J.T. van, H.Th.L. Massop, J.G. Kroes, J. Hoogewoud, M.J.H. Pastoors en T. Kroon, 2008. Actualisatie hydrologie voor STONE 2.3; Aanpassing randvoorwaarden en parameters, koppeling tussen NAGROM en SWAP, en plausibiliteitstoets. Wageningen, Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu, WOt-rapport 57.
- Broers, H.P., Lijzen, J., 2014. Afwegingen bij het gebruik van grondwater en de ondergrond, Deltares-rapport 1207762-016, RIVM-rapport 607710003/2014.
- Gemeente Dordrecht, 2014. Funderingsaanpak. Resultatenkaart. https://cms.dordrecht.nl/inwoners/wonen-en-bouwen/funderingsaanpak/resultatenkaart (gezien 3 december 2014).
- Hoogewoud, J., J. Hunink, G. Prinsen, A. Veldhuizen en J. Verkaik, 2013a. Veranderingsrapportage NHI 3.0. Beschrijving van de veranderingen in versie 3.0. Rapport nr. 1206107-000, Deltares.
- Hoogewoud, J.C., G.F. Prinsen, J.C. Hunink, A.A. Veldhuizen, F.J.E. van der Bolt en W.J. de Lange, 2013b.Toetsingsrapportage NHI 3.0. Rapport nr. 1206107-000, Deltares.
- Provincie Fryslân, 2014. Funderingsherstel. http://www.fryslan.frl/funderingsherstel (gezien 3 december 2014).
- Snepvangers, J., A. Veldhuizen, G. Prinsen en J. Delsman, 2008. Nationaal Hydrologisch Instrumentarium – NHI. Modelrapportage. NHI, Hoofdrapport, 28 blz.
- TNO, 2014. HET DINO-loket, http://www.geodatabank.nl/ (gezien 5 november 2014)
- Wageningen UR, 2014a. Bodemdata, http://maps.bodemdata.nl/bodemdatanl/index.jsp (gezien 5 november 2014)
- Wageningen UR, 2014b. Grondwaterdynamiek. http://www.wageningenur.nl/nl/Expertises-Dienstverlening/Onderzoeksinstituten/Alterra/Faciliteiten-Producten/Software-en-modellen/Grondwaterdynamiek.htm (gezien 5 november 2014)

Bijlage 5

Ecosysteemdienst 5: Bergingscapaciteit

Inhoud

1. Beschrijving van de Ecosysteemdienst — 86
1.1. Korte definitie — 86
1.2. Beschrijving van het systeem — 86

2. Gebruik van de Ecosysteemdienst — 90

3. Relaties tussen de Ecosysteemdienst, activiteiten en maatregelen — 92
3.1. Hoe wordt de Ecosysteemdienst beïnvloed? — 92
3.2. Maatregelen om de ESD te optimaliseren — 94
3.3. Toekomstige trends die invloed hebben op de ESD — 94

4. Beschikbare data over de ESD —96

Belangrijkste conclusies en aanbevelingen:

De bergingscapaciteit in de ondiepe ondergrond (tot ca. 200 meter) biedt mogelijkheden om water tijdelijk op te slaan en daarmee een buffer te vormen voor tijden van droogte. Ook kan in tijden van hevige neerslag de bergingscapaciteit een bijdrage leveren aan het bergen van neerslagpieken. Recent zijn diverse maatregelen in beeld gebracht die waterbeheerders kunnen nemen om de bergingscapaciteit te benutten voor zoetwatervoorziening. Voorbeelden hiervan zijn: vorming van zoetwaterlenzen in zoute kwelgebieden, verhogen van grondwaterstanden door peilbeheer en vermindering van drainage en kunstmatige infiltratie in zandgebieden. Trends als klimaatverandering en het daarop anticiperende Deltaplan zoetwatervoorziening dragen bij aan de noodzaak om de bergingscapaciteit voor voorraadberging te benutten. Toekomstig onderzoek is nodig, om piekberging en voorraadberging beter te kunnen combineren.
Naast vooraadberging en piekberging zijn er andere activiteiten die de bergingscapaciteit van de ondiepe ondergrond benutten: WKO (voor verwarmen en koelen van gebouwen), brijnlozingen en opslag van afvalstoffen. In de ondiepe ondergrond kunnen conflicten optreden op tussen activiteiten die dezelfde ruimte innemen. Vooral in stedelijke gebieden zal deze 'drukte in de ondergrond' verder toenemen.

De bergingscapaciteit in diepe ondergrond (200 m tot circa 3 km) bestaat uit bergingsruimte in diepe, veelal zoute, aquifers, in voormalige gasvelden, zoutcavernes of cavernes aangelegd in kleilagen. Activiteiten als CO2-opslag, opslag van radio-actief afval en bufferopslag van aardgas en olie maken gebruik van de bergingscapaciteit in de diepe ondergrond en profiteren hier van de ruimte, en van het feit dat opslag hier vrij ongestoord kan plaatsvinden, wat risico's op verspreiding of verlies beperkt.

1 Beschrijving van de Ecosysteemdienst

1.1 Korte definitie

Met bergingscapaciteit bedoelen we de mogelijkheid om de ondergrond te gebruiken om, tijdelijk of (semi)permanent, berging te verschaffen aan bijvoorbeeld regenwater en oppervlaktewater (via bijvoorbeeld overloopgebieden, wadi's en duininfiltratie t.b.v. drinkwaterproductie). Daarnaast biedt de ondergrond ruimte voor opslag van CO_2, olie, gas, warmte en koude (WKO) en afvalstoffen (zoals opslag van brijn en radioactieve stoffen). De bergingscapaciteit is, volgens de CICES (2013) indeling[4], een regulerende ecosysteemdienst.

1.2 Beschrijving van het systeem

1.2.1 Bergingscapaciteit voor water

De bergingscapaciteit voor water bestaat uit de bergingscapaciteit in de bodem (onverzadigde zone) en in watervoerende pakketten in de diepere ondergrond (verzadigde zone).
De bergingscapaciteit voor water in de ondergrond biedt veel mogelijkheden, zowel ten behoeve van zoetwatervoorziening tijdens droge perioden als voor het opvangen van neerslag- en hoogwaterpieken. De ondergrond werkt in beide gevallen als een buffer om het effect van extreme klimatologische omstandigheden op te vangen en te verkleinen.
We maken hier bewust geen gebruik van de term 'bergen' uit de NBW-trits, welke niet verwijst naar benutting van de bergingscapaciteit van de ondergrond, maar naar opslag van water boven maaiveld in bijvoorbeeld noodoverloop- of waterretentiegebieden. In het geval van hoogwater, komt het benutten van de bergingscapaciteit overeen het 'vasthouden' uit de trits vasthouden – bergen – afvoeren zoals beschreven in het Nationaal Bestuursakkoord Water (NBW). De ecosysteemdienst die de ondergrond biedt is in dit geval het vasthouden van gebiedseigen water in bovenstroomse gebieden. Dit wordt ook wel bergen aan de bron genoemd.
Voor perioden van droogte biedt benutting van de bergingscapaciteit mogelijkheden voor de zoetwatervoorziening, doordat het geborgen water langere tijd beschikbaar blijft, zowel voor onttrekkingen (drinkwater, beregeningswater, proceswater), als via grondwaterstroming. Dit laatste leidt tot een constantere van voeding van natte (kwelafhankelijke) natuurgebieden.

Onverzadigde zone

De bergingscapaciteit van de onverzadigde zone stelt eisen aan de bodemsamenstelling: poriëngrootte, het gehalte organische stof en de mate van verdichting.

De **poriëngrootte** bepaalt in hoeverre water in de onverzadigde zone kan worden geborgen (bron: http://deltaproof.stowa.nl – deltafact 'Bodem als buffer'):

- Zeer kleine poriën houden water zeer sterk vast. Planten wortels kunnen dit water niet bereiken.

[4] CICES V4.3 (http://cices.eu/). De ESD Bergingsvermogen valt onder de Divisie: Mediation of flows.

- poriën tussen 0,2-30 µm zijn belangrijk voor de opslag van bodemvocht en nalevering aan planten.
- poriën tussen 30-300 µm zijn belangrijk voor de infiltratie van water, maar zijn niet zo belangrijk voor de bergingscapaciteit van de onverzadigde zone.
- poriën > 300 µm kunnen grotere hoeveelheden water snel naar beneden afvoeren en zorgen voor voeding van de verzadigde zone.

Bodemverdichting, bijvoorbeeld door het gebruik van zware machines op het land, zorgt voor een afname van het aandeel macro-poriën. Dit heeft een nadelig effect op het watertransport door de onverzadigde zone en daarmee op de bergingscapaciteit.

Het **organische stof gehalte** bepaalt het vochtbindende vermogen van de bodem. Per gram organische stof wordt het vochtbindend vermogen met 1-8 cm^3 verhoogd en de hoeveelheid beschikbaar hangwater met 0-3 cm^3 (bron: http://deltaproof.stowa.nl – deltafact 'Bodem als buffer').

Verzadigde zone
Voor het goed functioneren van de bergingscapaciteit in de verzadigde zone moet de ondergrond toegankelijk en voldoende poreus zijn, zodat water in de ondergrond kan infiltreren. Dit stelt voorwaarden aan de infiltratiecapaciteit van de bodem (zie hierboven bij poriëngrootte), maar ook aan de helling van het maaiveld, de aanwezige drainagemiddelen en de stromingsrichting en doorlatendheid in de diepere ondergrond. Daarnaast is de ruimte die beschikbaar is voor een stijging van de grondwaterstand en/of -stijghoogte van belang. Deze ruimte hangt af van de eisen die het landgebruik ter plaatse stelt.

De **helling van het maaiveld en de aanwezige drainagemiddelen** bepalen in hoeverre water snel oppervlakkig of via drainagebuizen en ondiepe sloten en greppels wordt afgevoerd. Deze snelle afvoer belemmert benutting van de bergingscapaciteit.

Infiltratie naar diepere watervoerende pakketten stelt eisen aan de **doorlatendheid** van deze watervoerende pakketten. Daarbij spelen ook de **weerstand van scheidende lagen** en de **stromingsrichting** (opwaarts/kwel, neerwaarts/infiltratie) een belangrijke rol. Vooral in gebieden met een hoge doorlatendheid, lage verticale weerstand en een neerwaartse stromingsrichting kan de bergingscapaciteit optimaal worden benut. Voorbeelden hiervan zijn hoge zandgronden, zoals de duinen in Noord- en Zuid-Holland, de Veluwe, de Utrechtse heuvelrug en Sallandse heuvelrug en de hoge zandgronden in de provincie Noord-Brabant. Benutting van de bergingscapaciteit kan echter ook op kleinere schaal plaatsvinden. Voorbeeld hiervan is het opslaan van zoet water in kreekruggen in het omliggende zoute poldergebied van de provincie Zeeland.

Landgebruik stelt specifieke eisen aan de gewenste en de hoogst toelaatbare grondwaterstanden. Te hoge grondwaterstanden leiden tot natschade aan landbouwgewassen en zuurstofstress voor terrestrische natuur.

1.2.2 Bergingscapaciteit voor warmte, koude, brijn, aardgas, CO2 en andere afvalstoffen

Het benutten van de bergingscapaciteit voor de opslag van restproducten van water- en energiewinning zoals brijn, radioactieve stoffen en CO2, het opslaan van (strategische) gasolie- en aardgasbuffers, en opslag van warmte en koude (WKO) stelt andere eisen aan het ondergrondse systeem. Deze bergingscapaciteit betreft altijd de diepere ondergrond: van 20 tot ca. 200 meter diepte voor brijn en WKO; van 200 meter tot 3 kilometer voor gasolie, aardgas, radioactieve stoffen en CO2. bergingscapacititeit voor aardgas, gasolieolie en CO2 kan worden gevonden in (voormalige) aardgasreservoirs en in zoutcavernes. De bergingscapaciteit in aquifers (watervoerende lagen) is echter in potentie vele malen groter.

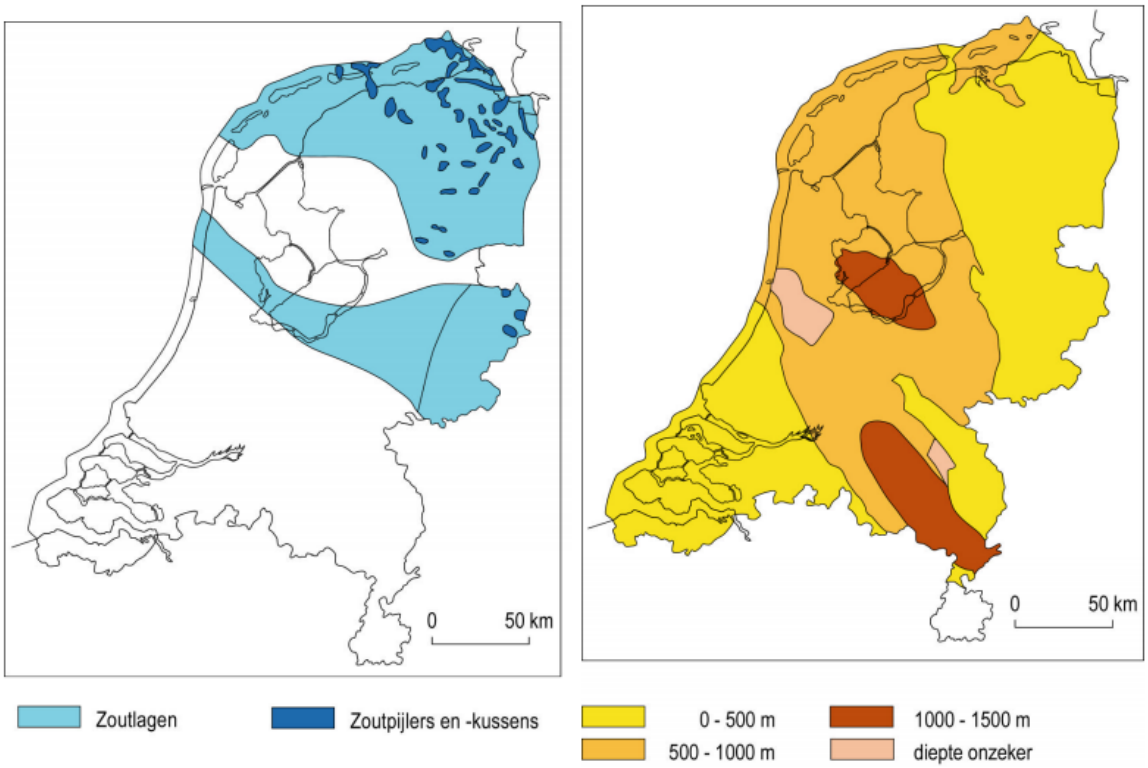
Belangrijkste vereisten voor het benutten van de bergingscapaciteit (om ongewenste verspreiding van brijn, warmte, koude, olie, gas en afvalstoffen te voorkomen) zijn de aanwezigheid van een stabiele ondergrond, scheidende lagen en beperkte grondwaterstroming (kleine gradiënten). Scheidende lagen zijn van nature aanwezig op verschillende dieptes in de ondergrond, in de vorm van slecht doorlatende klei-, en steenzoutlagen. Voor brijn, warmte en koude zijn ondiepe slecht doorlatende klei- en veenlagen relevant.

Open WKO-systeem systemen hebben een grondwaterpakket nodig met voldoende grof zand of grind om een goede doorstroming van het grondwater te garanderen. De kwaliteit van het grondwater is veel minder van belang dan de kwantiteit. Verstopping in het putfilter kan optreden wanneer er bacteriegroei of ijzer neerslag ontstaat door biologische grondwatersanering of door het mengen van water uit verschillende redoxzones in de ondergrond. Onderkennen van eventuele redoxgradiënten van oxisch naar anoxisch zijn dus van belang bij het ontwerp. Gesloten WKO-systemen hebben in principe geen grondwater nodig en maken slechts gebruik van de ruimte in de aquifer en de temperatuurregulatie die optreedt bij stromen door het buissysteem in de ondergrond (ESD 7, 'Temperatuur- en vochtregulatie van de ondergrond').

Opslag van CO2 en van aardgas kan zowel in voormalige gasvelden, in cavernes en in aquifers plaatsvinden. In cavernes kan ook gasolieopslag plaatsvinden. Insluiting van CO2 in aquifers stelt ook eisen aan zoutgehalte, chemische samenstelling van de ondergrond, en poriëngrootte. Naast ruimte is ook de aanwezigheid van zeer ondoorlatende lagen nodig om de aquifer af te sluiten. In plaats daarvan kan ook de bergingscapaciteit in een zoutcaverne worden benut, capaciteit in een (voormalig) aardgasreservoir, afgesloten door klei- of steenzoutlagen, of zeer ondoorlatende kleilagen, zoals de Ruppel-formatie in Nederland waarin cavernes kunnen worden gemaakt.

Voor radioactief afval is zowel insluiting als terugneembaarheid een belangrijke voorwaarde aan de bergingscapaciteit. Insluiting is in dit geval een essentiële randvoorwaarde, die inhoudt dat het gastgesteente slecht doorlatend is op de geologische tijdschaal. Vanwege de lange termijn waarop dit materiaal schadelijkheid is, moet het gesteente ook bij andere geologische gesteldheid (zoals een ijstijd) zijn isolerende en insluitende eigenschappen behouden. Herneembaarheid betekent dat

het afval ook weer moet kunnen worden verwijderd. Beide eigenschappen zijn van toepassing op zoutcavernes en op aangelegde cavernes in zeer ondoorlaatbare kleilagen zoals de Tertiaire Rupelklei, beter bekend als de 'Boomse Klei' in Nederland (figuur 1).



Figuur 1: Potentiële gastgesteente voor de eindberging van radioactief afval in Nederland: verbreiding van steenzout (links) en diepteligging Boomse Klei (rechts). Bron: Commissie Opberging Radioactief Afval (2001).

2 Gebruik van de Ecosysteemdienst

De volgende activiteiten maken gebruik van de ecosysteemdienst '*Bergingscapaciteit'*:

Tabel 1: Relatie tussen de ecosysteemdienst 'Beschikbaarheid voldoende water van een bepaalde kwaliteit' en de activiteiten (uit Broers en Lijzen, 2014); .J = activiteit maakt gebruik van de ecosysteemdienst, N = activiteit maakt geen gebruik van de ecosysteemdienst.

Activiteit	**Specifieke activiteit**	ESD
Onttrekkingen	Drinkwater	N
	Irrigatie uit grondwater	N
	Proceswater	N
	Koelwater	N
	Bouwactiveiten	N
	Beheer, sanering grondwaterverontreinigingen	N
Opslag	Opslag van regenwater voor proceswater	J
	Warmte en koude opslag	J
	Berging van (verontreinigd) sediment of afvalstoffen in zandwinputten	J
	Opslag radio-actief afval	J
	CO_2-opslag	J
	opslag van aardgas en olie (strategische voorraad)	J
	Brijnlozingen	J
	Kunstmatige infiltratie voor drinkwaterproductie (ASR)	J
Reserveringen	Bewaren van biodiversiteit/habitat van de ondergrond	N
	Bewaren van cultuurhistorische en archeologische waarden	N
	Reservering strategische grondwatervoorraden	J
Winning grondstoffen	Grind, zand en klei	N
	Zoutwinning	N
	Schaliegaswinning (incl. gebruik grondwater als proceswater)	N
	Olie- en gaswinning	N
	Geothermie	N
Ruimte beslag	Ondergrondse infrastructuur	N
	in-situ saneringen	N
Peilbeheer	Peilbeheer laag Nederland	J
	Peilbeheer hoog Nederland	J
Bovengrondse activiteiten	Beheer terrestrische/aquatische ecosystemen	J
	Recreatie (sportvisserij, zwemwater, natuurbeleving, thermae2000)	N
	Bodemafdichting	N
	Toepassen van meststoffen en bestrijdingsmiddelen	N
	Diffuse bodembelasting stedelijk gebied	N

De activiteiten 'opslag van regenwater voor proceswater', 'ASR', 'reservering strategische grondwatervoorraden' en 'beheer terrestrische/aquatische ecosystemen' maken gebruik van de bergingscapaciteit voor water. In glastuinbouwgebieden is bijvoorbeeld veel gietwater nodig voor de beregening van gewassen. Hiervoor wordt overwegend regenwater gebruikt, dat wordt opgeslagen in bovengrondse bassins. Opslag van regenwater voor gietwater, proceswater en drinkwater kan daarnaast plaatsvinden in de ondergrond, wat op een later tijdstip weer voor gebruik kan worden onttrokken. De ecosysteemdienst zorgt voor een aanmerkelijk kleiner

ruimtebeslag en een grotere bergingscapaciteit dan gebruik van bovengrondse bergingsbasins. In sommige gevallen wordt water actief geïnfiltreerd, met behulp van pompen, in andere gevallen vindt infiltratie passief plaats, bijvoorbeeld vanuit infiltratie vijvers. Reservering van strategische grondwatervoorraden vergt benutting van de bergingscapaciteit en een beperking van verstoringen en verontreinigingen die de strategische voorraden kunnen aantasten.
Natte terrestrische en aquatische ecosystemen zijn veelal afhankelijk van beschikbaarheid van grondwater (ESD 1). In veel gevallen is een hoge grondwaterstand, tot in of nabij de wortelzone nodig. Als de gewenste hoge grondwaterstanden gerealiseerd kunnen worden, wordt de bergingscapaciteit in de ondergrond van de natuur volledig benut.
Bij Warmte Koude Opslag (WKO) wordt warmte en koude opgeslagen en onttrokken aan de ondergrond. Open WKO systemen pompen grondwater heen en weer en gesloten systemen wisselen warmte uit met behulp van ondergrondse lussen. Het aanleggen van WKO systemen kan een flinke energie- en geldbesparing leveren en wordt gestimuleerd door de overheid.
Voor berging van (verontreinigd) sediment of afvalstoffen in zandwinputten kan worden gekozen als alternatief voor berging in omdijkte gebieden of stortplaatsen op het land, omdat dit minder ruimtebeslag en minder ingrepen in het landschap vereist.
Brijnlozingen vinden plaats in brakke of zoute aquifers. Gebruik van de ecosysteemdienst is in Nederland van belang in gebieden met een hoge dichtheid aan glastuinbouw. Als er in deze gebieden tijdens droge perioden onvoldoende regenwater aanwezig is op het bedrijf kan gebruik worden gemaakt van grondwater als aanvullende gietwaterbron. Dit water wordt onttrokken uit een watervoerend pakket in de ondergrond, gescheiden van het maaiveld door de deklaag of een scheidende laag (zie figuur 1). In delen van West-Nederland is dit water van nature brak tot zout. Met hulp van omgekeerde osmose membranen (reverse osmosis, RO), die wel water maar geen zouten doorlaten, wordt uit dit brakke water zoet permeaat gewonnen, dat na toevoeging van mineralen en voedingstoffen als gietwater gebruikt wordt. Zouten en andere stoffen blijven achter in het oorspronkelijke brakke water, dat sterk geconcentreerd wordt. Dit water, dat "brijn" genoemd wordt, is een restproduct van ontzilting en moet worden afgevoerd. Dit gebeurt door het te injecteren in een dieper watervoerend pakket dan waaruit het grondwater onttrokken is.
De activiteiten CO_2-opslag, opslag radio-actief afval en (buffer) opslag aardgas maken gebruik van de bergingscapaciteit in de diepe ondergrond (200 meter tot 3 km) en profiteren hier van de ruimte en het feit dat opslag hier vrij ongestoord kan plaatsvinden, wat risico's op verspreiding of verlies beperkt. Bufferopslag van aardgas vindt plaats om tegen lage kosten pieken in de vraag, gedurende de dag of tussen seizoenen, te kunnen opvangen.

3 Relaties tussen de Ecosysteemdienst, activiteiten en maatregelen

3.1 Hoe wordt de Ecosysteemdienst beïnvloed?

De volgende activiteiten hebben een invloed op de ESD 'bergingscapaciteit':

Tabel 2: Beïnvloeding van ecosysteemdiensten door de activiteiten in de boven- en ondergrond.
+ = positieve invloed van activiteit op het in stand houden of vergroten van de ESD
- = negatieve invloed van activiteit op ESD (vermindering dienst)
+/- = zowel positieve als negatieve invloed mogelijk, afhankelijk van tijdsschaal of invalshoek
O = geen positieve en/of negatieve invloed van de activiteit

Activiteit	**Specifieke activiteit**	ESD
Onttrekkingen	Drinkwater	-
	Irrigatie uit grondwater	-
	Proceswater	-
	Koelwater	-
	Bouwactiveiten	-
	Onttrekking tbv beheer en saneringen grondwaterverontreinigingen	-
Opslag	Opslag van regenwater voor proceswater	+/-
	Warmte en koude opslag	+/-
	Berging van (verontreinigd) sediment of afvalstoffen in zandwinputten	+/-
	Opslag radio-actief afval	+/-
	CO_2-opslag	+/-
	Brijnlozingen	+/-
	Kunstmatige infiltratie voor drinkwaterproductie (ASR)	+/-
Reserveringen	Bewaren van biodiversiteit/habitat van de ondergrond	-
	Bewaren van cultuurhistorische en archeologische waarden	-
	Reservering strategische grondwatervoorraden	-
Winning grondstoffen	Grind, zand en klei	+/-
	Bruinkoolwinning Naar Duits voorbeeld	+/-
	Zoutwinning	+/-
	Schaliegaswinning (incl. gebruik grondwater als proceswater)	-
	Olie- en gaswinning	+/-
	Geothermie	o
Ruimtebeslag	Ondergrondse infrastructuur	-
	aanpak grondwaterverontreiniging, incl. in-situ saneringen	-
Peilbeheer	Peilbeheer laag Nederland	+/-
	Peilbeheer hoog Nederland	+/-
Bovengrondse activiteiten	Beheer terrestrische/aquatische ecosystemen	+
	Recreatie (sportvisserij, natuurbeleving, thermae2000)	o
	Bodemafdichting	-
	Toepassen van meststoffen en bestrijdingsmiddelen	o
	Diffuse bodembelasting stedelijk gebied	o

Onttrekkingen voor drinkwater, proceswater, gietwater/beregening en koelwater verwijderen water uit de ondergrond, waardoor grondwaterstanden en –stijghoogten dalen en de bergingscapaciteit minder wordt benut.

De meeste **opslagactiviteiten** beïnvloeden ESD 5 in de zin dat deze de bergingscapaciteit gebruiken. De vraag is in hoeverre dit positief of negatief is. Vaak zorgt het gebruik dat er geen ruimte overblijft voor andere activiteiten. WKO systemen nemen bijvoorbeeld een deel van de ondergrondse ruimte in beslag die niet door andere vormen van gebruik meer kan worden benut. Op die manier gebruiken ze bergingscapaciteit op. Ook brijnlozingen, ondergrondse infrastructuur, bouwactiviteiten, opslag van water (regenwater t.b.v. proceswater en ASR), schaliegaswinning en reservering strategische grondwatervoorraden benutten bergingscapaciteit die niet tegelijkertijd door andere activiteiten benut kan worden.

Aardgasopslag en CO_2-opslag maken gebruik van dezelfde bergingscapaciteit in cavernes of aquifers. Een veld dat eerder is gebruikt voor opslag van aardgas blijft echter daarna geschikt voor permanente opslag van CO2. Beide activiteiten kunnen elkaar in de tijd opvolgen (TNO, 2009).

Activiteiten **zoals zand-, grind- en kleiwinning, zoutwinning en aardgaswinning** vergroten de bergingscapaciteit voor respectievelijk sediment, afvalstoffen, CO_2 en olie- en aardgas.

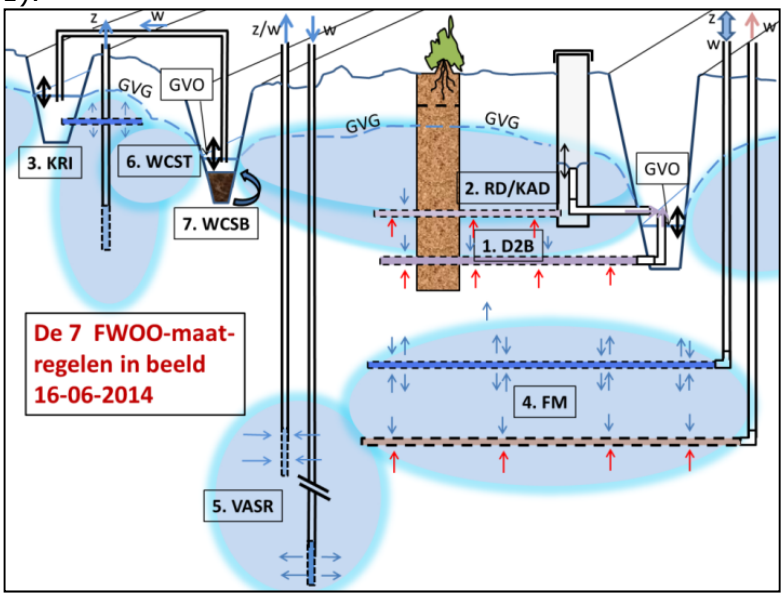
Beheer van oppervlaktewaterpeilen heeft grote invloed op grondwaterstroming en is daarmee een belangrijke activiteit met invloed op ecosysteemdienst bergingscapaciteit voor water. Door de drainerende werking van waterlopen kan met peilbeheer de mate waarin de bergingscapaciteit wordt benut worden beïnvloed. Vanuit agrarisch oogpunt is het van belang dat het land niet onderloopt, oppervlaktewaterpeilen worden daarom in (aanloop naar) natte perioden verlaagd. Hierdoor daalt ook de grondwaterstand. Bij hevige regenval wordt de bergingscapaciteit tijdelijk benut waardoor de grondwaterstand tijdelijk stijgt, totdat het grondwater weer weggezakt is en afgevoerd via sloten. Omdat in het vroege voorjaar mest uitgereden moet worden, moet het land dan weer droog zijn voor voldoende draagkracht. Bij agrarisch peilbeheer wordt de bergingscapaciteit dus niet benut om in het voorjaar een watervoorraad te hebben.
Onder peilbeheer wordt echter niet alleen drainage van landbouwgronden en ontwatering van stroomgebieden en polders gevat maar ook de wateraanvoer en inlaat van gebiedsvreemd water die mogelijk weer tot infiltratie naar het grondwater kan leiden. Verhogen van oppervlaktewaterpeilen kan bijdragen aan het vasthouden van grondwater (benutting van de bergingscapaciteit) in natte perioden en draagt bij aan vergroten van basisafvoer in droge perioden.

Door hoge waterpeilen als gevolg van **beheer van terrestrische en aquatische ecosystemen** wordt de bergingscapaciteit van de bodem optimaal benut.

Bodemafdichting door asfalt, bestrating en bebouwing in combinatie met peilbeheer door drainagesystemen en de aanwezigheid van riolering verminderen de potentiele benutting van bergingscapaciteit van de ondergrond in stedelijk gebied.

3.2 Maatregelen om de ESD te optimaliseren

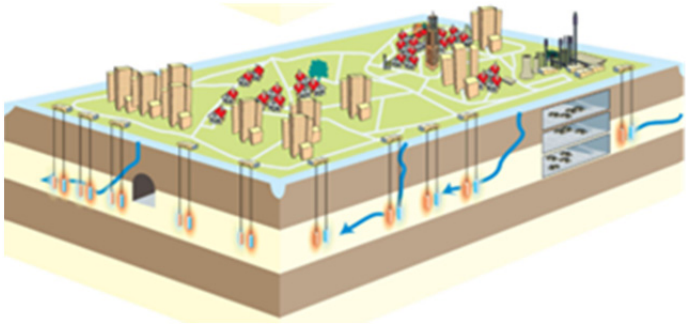
De wijze waarop de benutting van de bergingscapaciteit voor water in de ondergrond kan worden vergroot, zal per gebied verschillen, afhankelijk van de fysische eigenschappen en het gebruik van de ondergrond. Voor een selectie van maatregelen (afkomstig uit de Fresh Water Options Optimizer; Van Bakel et.al, 2014) zijn voor zeven oplossingen de invloed van deze fysische eigenschappen in kaart gebracht. Het gaat om de oplossingen (1) drains2buffer - dunne regenwaterlenzen in zoute kwelgebieden, (2) vervanging traditionele drainage door regelbare en/of klimaatadaptieve drainage, (3) kreekruginfiltratie, (4) freshmaker, (5) verticale ASR, (6) waterconservering door stuwen en (7) waterconservering door peilbeheer en/of slootbodemverhoging (figuur 1).



Figuur 1 Selectie van zeven maatregelen uit de Fresh Water Options Optimizer (FWOO) om de bergingscapaciteit van de ondergrond te benutten, ten behoeve van zoetwatervoorziening (Van Bakel e.a., 2014).

3.3 Toekomstige trends die invloed hebben op de ESD

Klimaatverandering en het daaraan gerelateerde landelijke deltaprogramma zoetwatervoorziening, leiden tot toename naar de vraag om gebieden meer zelfvoorzienend te maken. Benutting van de bergingscapaciteit voor water kan hier een belangrijke rol in spelen. Dit kan leiden tot een toename van de benutting van de bergingscapaciteit. Rondom opslag van CO_2 (negatieve impact op huizenprijzen), aardgaswinning (aardbevingen) en aardgas – en gasolieopslag (ervaring met lekkage in Duitsland) heerst momenteel veel publieke aandacht en politieke discussie. De bergingscapaciteit zelf wordt er niet door beïnvloed. Dit kan wel leiden tot afname (of stagnering van de toename) van de benutting van de bergingscapaciteit.
Verstedelijking en stijging energieprijzen leiden tot toename vraag naar WKO. Vooral bij aanleg van grote aantallen gesloten WKO systemen kan dit leiden tot onderling negatieve beïnvloeding tussen de systemen, en tot een afname van de mogelijkheden van andersoortig gebruik en "drukte in de ondergrond" (figuur 2).



Figuur 2 Drukte in de ondergrond: benutting van de ondergrond in stedelijke gebieden.

4 Beschikbare data over de ESD

In ANK, Atlas Natuurlijk Kapitaal (http://www.atlasnatuurlijkkapitaal.nl/), wordt voor de ESD 'waterregulering ondergrond' de volgende indicator voor potentie (stock) gekarteerd; de kansrijkdom van verschillende maatregelen voor zoetwatervoorziening, gericht op benutting van de bergingscapaciteit in het diepe en ondiepe grondwater. Daarnaast is ook een kaart gemaakt die de variabele waterberging in de ondiepe ondergrond weergeeft.

Beschikbare ruimte voor berging van water in aquifers kan worden berekend met het Nationaal Hydrologisch Instrumentarium NHI (www.nhi.nu).

Beschikbare data over de ruimte voor berging van CO_2, aardgas en gasolie is beschikbaar bij de Geologische dienst van Nederland - TNO (www.TNO.nl).

Opstellers:
Marijn Kuijper (Deltares, Hoofdauteur en contactpersoon)
Wilko Verweij (RIVM)

Referenties

Bakel, J. van, P. de Louw, H. Massop, L. Stuyt, L. Tolk, J. Velstra, M. Hoogvliet en M. Mikkels (2014) Fresh Water Options Optimizer. Stowa rapportnummer 2014-16, KvK rapportnummer KvK118/2014 concept.

Broers, H.P. en J. Lijzen (2013) Afwegingen bij het gebruik van grondwater en de ondergrond. Een verkenning op basis van ecosysteemdiensten. Deltares en RIVM, Deltares-rapportnummer 1207762-016 / RIVM-rapportnummer 607710003/2014, Utrecht.

Commissie Opberging Radioactief Afval (2001), Terugneembare berging, een begaanbaar pad? Onderzoek naar de mogelijkheden van terugneembare berging van radioactief afval in Nederland. Ministerie van Economische Zaken, Den Haag, februari 2001.

STOWA Deltaproof: http://deltaproof.stowa.nl – deltafact 'Bodem als buffer'

TNO (2009) Beleidsanalyse van de potentieelstudie diepe ondergrond Noord Nederland – Confrontatie met het provinciaal omgevingsbeleid & consequenties voor de ondiepe ondergrond. TNO-rapport TNO-034-DTM-2009-05075, Utrecht.

Bijlage 6

Ecosysteemdienst 6: Biogeochemische cycli

Inhoud

1. Beschrijving van de Ecosysteemdienst — 99
1.1. Korte definitie — 99
1.2. Beschrijving van het systeem — 99

2. Gebruik van de Ecosysteemdienst — 104

3. Relaties tussen de Ecosysteemdienst, activiteiten en maatregelen — 106
3.1. Hoe wordt de Ecosysteemdienst beïnvloed? — 106
3.2. Maatregelen om de ESD te optimaliseren — 108
3.3. Toekomstige trends die invloed hebben op de ESD — 109

4. Beschikbare data over ESD — 110

Belangrijkste conclusies en aanbevelingen:

De ESD *'Biogeochemische cycli'* zijn regulerende ecosysteemdiensten. Ze vormen de basis voor het in stand houden van de gewenste samenstelling van atmosfeer, oppervlaktewateren, grondwaterlichamen en de zonering daarbinnen. Zowel de fysisch-chemische condities in de ondergrond als de aanwezige micro-organismen spelen hierbij een essentiële rol; de ESD *'Biogeochemische cycli'* kan niet zonder de ESD *'Biodiversiteit van de ondergrond'* en omgekeerd. Activiteiten die baat hebben bij regulering van aan- en afvoer van stoffen naar en vanuit de ondergrond of bij een constante samenstelling van grondwater zijn grondwateronttrekkingen voor diverse doeleinden, natuurbeheer en landbouw, maar ook leven en (ondergronds) bouwen in stedelijk gebied.

Belasting met stoffen vanuit de occupatielaag of veranderingen in de waterhuishouding, beïnvloeden het functioneren van de ESD '*Biogeochemische cycli'.* De nog steeds toenemende emissies van CO_2 verstoren de koolstofcyclus. Veranderende neerslagpatronen door klimaatverandering en een toenemend areaal afgedekte bodem door verstedelijking verstoren de balans tussen infiltratie en afstroming, waardoor het regulerende systeem van de ondergrond minder effectief wordt benut. Ook bij intensivering van gebruik of benutting van grondwater en ondergrond is aandacht nodig voor effecten op waterhuishouding en stofcycli. Extra gebruik van meststoffen en bestrijdingsmiddelen speelt bij verdere intensivering van de landbouw, inclusief de biobased economy. Focus op duurzame ontwikkeling en aandacht voor conserverende maatregelen zoals immisiebeperking, het beheer van bovengrondse ecosystemen, het beperken van bodemafdichting en duurzaam stedelijk waterbeheer zijn van belang voor het behoud van de ESD *Biogeochemische cycli*.

1 Beschrijving van de Ecosysteemdienst

1.1 Korte definitie

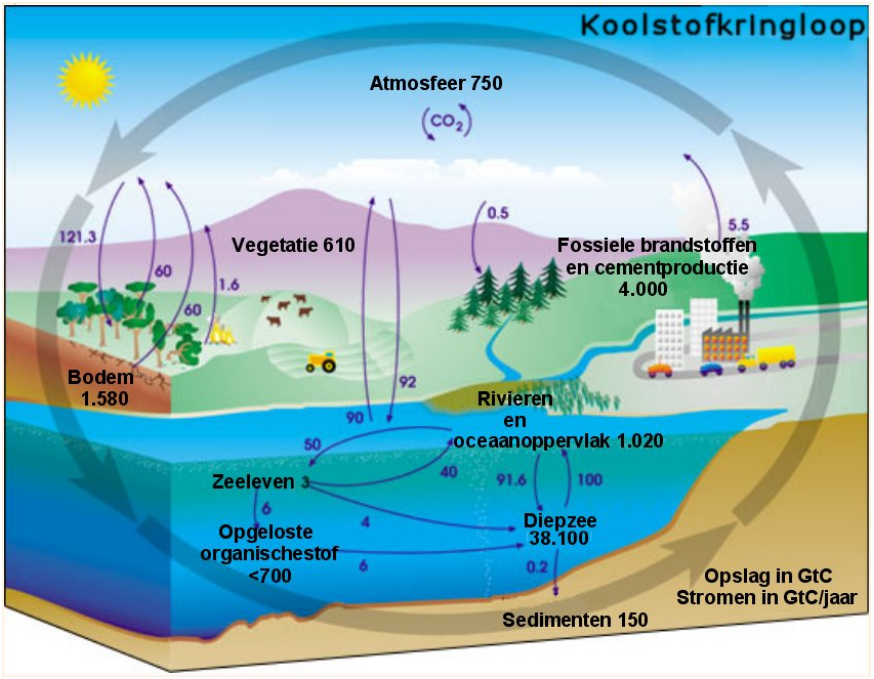
De bijdrage van het grondwatersysteem aan de *Biogeochemische cycli* van koolstof, stikstof, fosfor en andere elementen is, volgens de CICES (2013) indeling[5], een regulerende ecosysteemdienst. Grondwaterstroming verzorgt een deel van het transport in de cycli (waarbij andere delen van de route verzorgd worden door lucht, vegetatie, bodemtoplaag, oppervlaktewater en zeeën); natuurlijke omzettingsreacties zorgen ervoor dat de betreffende stoffen langs en aan het eind van de grondwaterroute in de juiste vorm (voor stikstof bijvoorbeeld als nitraat, ammonium, het broeikasgas lachgas, of gewoon stikstofgas) en concentratie aanwezig zijn. Het ondergrondsysteem als – tijdelijk – natuurlijk reservoir van stoffen, is ook onderdeel van deze ecosysteemdienst. Deze ESD is onderdeel in een globaal systeem van water- en stofkringlopen, dat idealiter een steady state in de samenstelling van atmosfeer, oppervlaktewateren, grondwaterlichamen en de biogeochemische zones in bodem en ondergrond waarborgt.

1.2 Beschrijving van het systeem

Achtergrondinformatie over het hydrologische en biogeochemische systeem dat ten grondslag ligt aan de ESD *Biogeochemische cycli* kan gevonden worden in handboeken zoals bijvoorbeeld Drever, (1997) en Appelo & Postma (2005). De ecosysteemdienst *Biogeochemische cycli* onderscheidt zich van de ESD *Reinigend vermogen van de ondergrond*[6]*,* doordat de laatste specifiek gedefinieerd is in de context van het mitigeren van door de mens veroorzaakte concrete verontreiniging of verstoring van de samenstelling van het ondergrondsysteem, bijvoorbeeld door belasting met stoffen vanaf de occupatielaag of het wijzigen van grondwaterstromingspatronen. Bij de ESD *Biogeochemische cycli* gaat het over de natuurlijke kringlopen als zodanig. Het regulerend vermogen ten aanzien van de samenstelling van grondwater/ondergrond in reactie op lange termijn ontwikkelingen op wereldwijde schaal, zoals veranderingen in klimaat, bevolkingsdruk en landgebruik, wordt wel gezien als behorend tot de ESD *Biogeochemische cycli*.
Zoals hierboven al aangegeven vallen er drie aspecten aan deze dienst te onderscheiden:

1. het transport van water, nutriënten en andere stoffen door de ondergrond,
2. het vermogen van de ondergrond (reactieve stoffen in samenspel met micro-organismen) om de samenstelling / concentraties in het grondwater binnen bepaalde marges te bufferen, en
3. de benutting van het natuurlijke ondergrondreservoir voor (tijdelijke) vastlegging van stoffen, die eventueel later (en elders) weer beschikbaar kunnen komen.

[5] CICES V4.3 (http://cices.eu/). De ESD *Biogeochemische cycli* valt onder Sectie: Regulation & Maintenance, Divisie: Maintenance of physical, chemical, biological conditions. Merk op dat deze ESD verweven is met de hydrologische cyclus, die als ESD volgens de CICES indeling valt onder de Sectie: Regulation & Maintenance, Divisie: Mediation of flows.
[6] CICES V4.3 (http://cices.eu/). De ESD *Reinigend vermogen van de ondergrond* valt onder de Divisie: Mediation of waste, toxics and other nuisances.



Figuur 1. Schematische voorstelling van de koolstofcyclus (bron: http://earthobservatory.nasa.gov/)

Transport

Figuur 1 schetst als voorbeeld de kringloop voor koolstof, waarin het transport-aspect duidelijk zichtbaar wordt gemaakt. Voor het in stand houden van dit aspect is het belangrijk dat de connectiviteit in de cyclus tussen de verschillende reservoirs gewaarborgd wordt. Dit betekent dat de bodem in contact moet staan met de atmosfeer voor uitwisseling van lucht en vocht. Bij voorkeur moet er ook vegetatie aanwezig zijn. De uitwisseling van water, koolstof en nutriënten tussen bodem en atmosfeer vindt voor een belangrijk deel via de vegetatie plaats.

Gebouwen, wegen, en andere vormen van bodemafdekking kunnen daarom het functioneren van deze ecosysteemdienst beperken. De verbinding van het grondwater met het rivierensysteem is nodig voor de uitwisseling tussen de terrestrische en mariene reservoirs. Ook bij de overgang van grondwater naar oppervlakte water speelt vegetatie vaak een 'bemiddelende' rol in de uitwisseling van stoffen. Natuurlijke oevers dragen daarom bij aan het effectief functioneren van het ondergrondse deel van de biogeochemische cycli.

Voor transport is het uiteraard verder een voorwaarde dat het grondwater kan stromen. Zowel voor het *Reinigend vermogen van de ondergrond* ten aanzien van verontreinigingen als voor het goed functioneren van de natuurlijke *Biogeochemische cycli* moet de ondergrond daarom voldoende poreus en doorlatend zijn. Bodemverdichting, door het gebruik van zware machines in de landbouw, maar ook onder het gewicht van infrastructuur zoals wegen en gebouwen, vermindert de doorlatendheid en daarmee de transportcapaciteit van deze ESD. Ook de aanwezigheid van

ondergrondse infrastructuur kan een belemmering zijn voor grondwaterstroming.
Transport in de biogeochemische cycli kan verder niet los gezien worden van de diverse stof-transformaties[7], die samenstelling en concentraties in het ondergrondsysteem reguleren. Deze worden hieronder behandeld.

Regulering van samenstelling en concentraties

Regenwater is relatief zuiver water, in de zin dat het vrij weinig opgeloste stoffen bevat. Door de aanwezigheid van CO_2 (koolzuur) in de atmosfeer, dat in regenwater oplost, is regenwater van nature enigszins zuur. Verbranding van kolen of zwavelhoudende olie vormt een potentiele bron van zwavelzuur in de atmosfeer; stikstofoxiden in uitlaatgassen en ammoniak-emissies vanuit de landbouw zijn de oorzaak van verhoogde concentraties atmosferisch salpeterzuur. Zure regen was op zijn hoogtepunt in de jaren 70 van de 20^{e} eeuw. De zwavel-emissies zijn sindsdien sterk afgenomen, door het gebruik van zwavel-armere brandstoffen en de toepassing van rookgas-ontzwaveling; stikstof-emissies uit de landbouw vormen regionaal nog steeds een probleem. Het ondergrondsysteem kan de natuurlijke en toegevoegde zuren[8] uit regenwater bufferen, door het oplossen van kalk (snel) of door verwering van kleimineralen en veldspaten (langzaam). Het zuurbufferend vermogen van de ondergrond door kalk wordt - op een tijdschaal van 10 000 tot 100 000 jaar - langzaam uitgeput, de grens tussen een ontkalkte en een kalkhoudende ondergrond verschuift geleidelijk naar grotere diepte. De tragere bufferwerking van de silicaten was in de piekjaren van de verzuring niet altijd afdoende, waardoor de samenstelling van bodemvocht, grondwater en oppervlaktewater in veel gebieden verzuurde, in de richting van een nieuwe, zuurdere, steady state situatie. Maar de capaciteit van de silicaat-buffer voor zuurbuffering is zelfs op geologische tijdschaal eigenlijk niet uitputbaar. Regenwater is ook zuurstofhoudend, terwijl in het grondwater op enige diepte meestal zuurstofloze, reducerende omstandigheden heersen. Dit traject van oxiderend naar reducerend is vooral het gevolg van de aanwezigheid van organische stof in de ondergrond, dat een buffer vormt ten aanzien van een reeks van oxiderende stoffen (en waarbij CO_2 gevormd wordt). Bovenin het systeem reageert organische stof eerst met zuurstof, de sterkste oxidator die van nature aanwezig is. Als alle opgeloste zuurstof verbruikt is, is de volgend sterkste oxidator eventueel nitraat, dat dan in enkele reactiestappen wordt omgezet naar stikstofgas. Daarna komen de in de ondergrond aanwezige ijzer(III) en mangaan(IV)-oxides aan de beurt, waarbij de concentratie van Fe^{2+} en Mn^{2+} ionen in het grondwater toeneemt. Vervolgens wordt opgelost sulfaat omgezet naar sulfide, wat dan - samen met het opgeloste ijzer - pyriet en andere sulfidemineralen vormt. Uiteindelijk kunnen methanogene condities ontstaan waarbij organische stof via een autoreactie uiteenvalt in methaan (CH_4) en CO_2. Op die manier ontstaat een natuurlijke opeenvolging van zogenaamde redox-zones.

[7] Er kan een onderscheid gemaakt worden tussen fase-overgangen (van gas of vaste stof naar opgelost, of van geadsorbeerd naar opgelost, en omgekeerd), homogene omzettingsreacties (reactie tussen alleen gassen, of alleen opgeloste stoffen), en heterogene omzettingsreacties (met behulp van reactieve oppervlakken en/of micro-organismen)

[8] Het bufferen van antropogeen veroorzaakte "zure regen" kan ook gezien worden als de levering van de ESD *Reinigend vermogen van de ondergrond*.

Bij alle reacties in dit redox-systeem zijn bacteriën betrokken. Zonder deze micro-organismen zouden de reacties niet of heel veel trager verlopen. De bacteriepopulatie vervult een katalytische rol. De opeenvolgende biogeochemische condities – dus inclusief de bacteriepopulaties - houden de cyclus in stand en omgekeerd! Hier komt duidelijk de link naar voren met de ESD Biodiversiteit van de ondergrond; ook de twee ESD (*Biogeochemische cycli* en *Biodiversiteit ondergrond*) zijn wederzijds afhankelijk, de een kan niet zonder de ander.
De redox-buffering resulteert net als de zuur-buffering in een quasi steady state in de vorm van een langzaam opschuivend reactiefront. De redox-buffer kan versneld worden verbruikt als de nitraat-input toeneemt door intensievere landbouw, als in vegetatie opgeslagen stikstof door veranderend landgebruik versneld vrijkomt (gras-scheuren, ontbossing), maar ook als gevolg van grondwaterstandsverlaging, waardoor zuurstofhoudende bodemlucht dieper in de bodem kan indringen. Ook in dit geval moet onderscheid gemaakt worden tussen buffersnelheid en buffercapaciteit. Organische stof in de ondergrond is niet uniform, en de reactiviteit van de verschillende fracties loopt uiteen. Omdat organische stof in de bovengrond kan worden aangevuld vanuit de vegetatie, zijn ook de omvang en reactieve eigenschappen van het organisch stof reservoir in de bodem in principe dynamisch, en onder constante externe omstandigheden in een steady state.
Zoals al aangegeven wordt eventueel aanwezig nitraat in de reeks van opeenvolgende biogeochemische zones verwijderd. Ook de eventuele concentratie van fosfaat neemt af langs de grondwaterstroombaan, onder andere doordat fosfaat minder goed oplosbaar is onder minder zure condities en in aanwezigheid van calcium en ijzer. Het systeem van omzettingsreacties zorgt er dus voor dat oppervlakte water niet - of in ieder geval minder - met verzurende en eutrofiërende stoffen wordt belast. Omgekeerd lossen in het grondwater ook weer stoffen op, zoals calcium of ijzer, maar ook sporenelementen als Cu en Zn. Hierdoor is opwellend of uittredend grondwater in het algemeen rijker aan allerlei micronutriënten dan het inkomende regenwater, zodat grondwaterafhankelijke ecosystemen - maar ook de oceanen - met deze nutriënten gevoed kunnen worden. Het adsorptievermogen van de ondergrond vervult een additionele regulerende rol ten aanzien van de grondwaterconcentraties en samenstelling. Bij een gegeven quasi steady state situatie is echter ook het adsorptie-complex op elk punt al (vrijwel) in dynamisch evenwicht met het binnenstromende water.

Vastlegging

Zoals uit Figuur 1 blijkt (en beschreven onder Transport) vormt het terrestrische ondergrondsysteem een reservoir tussen de twee grote bovengrondse reservoirs: atmosfeer en oppervlaktewater/oceanen. Als we het vaste, minerale reservoir van gesteenten en in het geologisch verleden afgezette sedimenten even buiten beschouwing laten, vormt de ondergrond vooral een reservoir voor - uiteraard - water, en daarnaast koolstof (als organische stof vooral in de bovengrond, in oplossing in het grondwater als HCO_3^-). In het bovenste deel (bodem toplaag) van het systeem is er ook sprake van tijdelijke vastlegging van nutriënten als stikstof, fosfaat, kalium, calcium en micronutriënten, die afhankelijk van deels seizoensgebonden variatie in neerslag, verdamping en

resulterende grondwaterstand, worden vastgelegd of juist voor de vegetatie beschikbaar komen.

Hernieuwbaar/uitputbaar

Vanuit de gekozen definitie van de ESD Biogeochemische cycli als betrekking hebbend op de natuurlijke kringlopen, in combinatie met het relatief grote volume van het ondergrondse (eco)systeem, is deze dienst eigenlijk alleen op langere, geologische tijdschaal uitputbaar (en hernieuwbaar). Dit geldt voor zowel de chemische reactiviteit als het biologische aspect. Op de lange tijdschaal zullen wezenlijke veranderingen optreden, maar op de kortere tijdschaal vormen de fysisch-chemische condities en de microbiële diversiteit in de ondergrond in principe een natuurlijke steady state.
Voor wat betreft mogelijke uitputting is er op lokale schaal een koppeling met de ESD Reinigend vermogen van de ondergrond, die voor een groot deel van dezelfde ondergrond- buffers en biogeochemische processen gebruik maakt. Benutting van de ESD Reinigend vermogen zet de biogeochemische cycli dus lokaal onder druk. Globale verstoringen van het systeem, zoals de grootschalige zure emissies naar de atmosfeer van de vorige eeuw, intensivering van de landbouw, voortschrijdende ontwatering van veengebieden, of urbanisatie leggen grootschalig druk op het systeem van biogeochemische cycli.

Er bestaat discussie over biodiversiteit en de relatie met ecosysteemdiensten. Als het niet bewust wordt benut door de mens wordt het geplaatst onder de eigenschappen van het natuurlijk systeem. Hetzelfde geldt voor de biochemische cycli, die in de oude indeling van ecosysteemdiensten onder ‘ondersteunende diensten’ zou vallen.

2 Gebruik van de Ecosysteemdienst

De volgende activiteiten maken gebruik van de ecosysteemdienst *Biogeochemische cycli* (zie tabel 1, Broers & Lijzen 2014):

Tabel 1: Relatie tussen de ecosysteemdienst 'beschikbaarheid voldoende water van een bepaalde kwaliteit' en de activiteiten (uit Broers en Lijzen, 2014). J = activiteit maakt gebruik van de ecosysteemdienst, N = activiteit maakt geen gebruik van de ecosysteemdienst.

Activiteit	**Specifieke activiteit**	ESD
Onttrekkingen	Drinkwater	J
	Irrigatie uit grondwater	N
	Proceswater	J
	Koelwater	J
	Bouwactiveiten	N
	Beheer, sanering grondwaterverontreinigingen	N
Opslag	Opslag van regenwater voor proceswater	N
	Warmte en koude opslag	N
	Berging van (verontreinigd) sediment of afvalstoffen in zandwinputten	N
	Opslag radio-actief afval	N
	CO_2-opslag	N
	Brijnlozingen	N
	Kunstmatige infiltratie voor drinkwaterproductie (ASR)	N
Reserveringen	Bewaren van biodiversiteit/habitat van de ondergrond	J
	Bewaren van cultuurhistorische en archeologische waarden	J
	Reservering strategische grondwatervoorraden	J
Winning grondstoffen	Grind, zand en klei	N
	Zoutwinning	N
	Schaliegaswinning (incl. gebruik grondwater als proceswater)	N
	Olie- en gaswinning	N
	Geothermie	N
Ruimte beslag	Ondergrondse infrastructuur	N
	in-situ saneringen	J
Peilbeheer	Peilbeheer laag Nederland	N
	Peilbeheer hoog Nederland	N
Bovengrondse activiteiten	Beheer terrestrische/aquatische ecosystemen	J
	Recreatie (sportvisserij, zwemwater, natuurbeleving, thermae2000)	N
	Bodemafdichting	N
	Toepassen van meststoffen en bestrijdingsmiddelen	J
	Diffuse bodembelasting stedelijk gebied	J

- Reservering van strategische grondwatervoorraden, en
- Grondwateronttrekking voor drinkwater

De drinkwaterindustrie is nu en in de toekomst gebaat bij een constante watersamenstelling, bij voorkeur met een neutrale tot iets basische zuurgraad (om niet corrosief te zijn voor waterleidingen). Er moet ook niet te veel kalk zijn opgelost, omdat hard water tot kalkneerslag in leidingen kan leiden. Ook is kalk voor de consument ongunstig, het vermindert bijvoorbeeld de was-activiteit van opgeloste zepen, en kan de smaak van koffie of thee beïnvloeden.

- Grondwateronttrekking voor industrieel proceswater

Ook hier gaat het vooral om de gunstige en constante samenstelling van grondwater, met name in de voedingsindustrie. Maar ook in andere industriële processen is de betrouwbaarheid voor wat betreft constante condities een belangrijk aspect. Broers & Lijzen (2014) noemt ook het gebruik van deze ESD door grondwateronttrekking voor koelwater, waarbij dezelfde voordelen relevant kunnen zijn.

- Bewaren (bovengrondse) biodiversiteit, en
- Beheer terrestrische/aquatische ecosystemen

De biogeochemische cycli dragen bij aan het in stand houden van gradiënten in omgevingscondities, zowel in het ondergrondsysteem zelf, als in de aangrenzende ecosystemen. Er is hier een directe relatie met de ESD *Voeding van grondwaterafhankelijke natuur*. Indirect zal ook recreatie, met name waterrecreatie, profiteren van een goede kwaliteit van opkwellend grondwater, en van rijke ecosystemen en biodiversiteit.

- Bewaren cultuurhistorische en archeologische waarden en
- Ondergrondse infrastructuur

Hierbij speelt vooral de conserverende werking van zuurstofloos water een rol. Onder dergelijke biogeochemische condities is de afbraak van cultuurhistorische/archeologische artefacten vele malen trager dan in een zuurstofrijke omgeving. Niet genoemd in Broers & Lijzen (2014), maar ook de mate van aantasting van moderne ondergrondse infrastructuur, zoals houten palen, ondergrondse pijpleidingen, funderingen en andere constructies is afhankelijk van de heersende biogeochemische condities, zoals bepaald door de biogeochemische cycli.

Broers & Lijzen(2014) noemt ook het gebruik van de ESD *Biogeochemische cycli* door in-situ saneringen, het toepassen van meststoffen, en de diffuse bodembelasting in het stedelijk gebied (zie tabel 1). Gezien de afperking in de definitie van ESD *Biogeochemische cycli* tot het natuurlijk systeem, moet dit eerder gerekend worden tot het benutten van de ESD *Reinigend vermogen van de ondergrond.* Het gebruik van het reinigend vermogen van de ondergrond is qua intensiteit te zien als een uitvergroting van het gebruik van de biogeochemische cycli. Ten opzichte van de globale schaal waarop de biogeochemische cycli opereren is het effect echter beperkt, omdat benutting van het reinigende vermogen in ruimte en tijd begrensd is door de menselijke maat.

3 Relaties tussen de Ecosysteemdienst, activiteiten en maatregelen

3.1 Hoe wordt de Ecosysteemdienst beïnvloed?

Activiteiten die de connectiviteit met het bovengrondsysteem en de natuurlijke doorstroming in het ondergrondsysteem beperken hebben een negatieve invloed op het transport-aspect van de ESD *Biogeochemische cycli*, activiteiten die dit juist bevorderen, of in ieder geval in stand houden, kunnen gezien worden als positieve invloeden. Voor het bufferende aspect geldt dat activiteiten die de ESD *Reinigend vermogen van de ondergrond* benutten, in potentie een negatieve invloed hebben op het functioneren van de biogeochemische cycli. Hieronder horen verder ook activiteiten die leiden tot een grotere input van stoffen in het bufferend systeem. In dit verband zijn al de verzurende invloed van industriële en landbouwactiviteiten genoemd, het scheuren van grasland, en verlaging van de grondwaterstand. Ook ingrepen in het grondwatersysteem die leiden tot vermenging van verontreinigd en schoon grondwater kunnen een extra druk leggen op het systeem, bijvoorbeeld het doorboren van een kleilaag, of de bemaling van een bouwput nabij een verontreinigingspluim.
Een overzicht van de beïnvloeding van de ESD Biochemische Cycli door verschillende activiteiten staat weergegeven in tabel 2.

Tabel 2: Beïnvloeding van ecosysteemdiensten door de activiteiten in de boven- en ondergrond.
+ = positieve invloed van activiteit op het in stand houden of vergroten van de ESD
- = negatieve invloed van activiteit op ESD (vermindering dienst)
+/- = zowel positieve als negatieve invloed mogelijk, afhankelijk van tijdsschaal of invalshoek
O = geen positieve en/of negatieve invloed van de activiteit
?= onbekend
(?) achter een ander teken zoals een +(?) dan is het effect onzeker.

Activiteit	**Specifieke activiteit**	ESD
Onttrekkingen	Drinkwater	**o**
	Irrigatie uit grondwater	**o**
	Proceswater	**o**
	Koelwater	**o**
	Bouwactiveiten	**o**
	Onttrekking tbv beheer en saneringen grondwaterverontreinigingen	**o**
Opslag	Opslag van regenwater voor proceswater	**o**
	Warmte en koude opslag	**o**
	Berging van (verontreinigd) sediment of afvalstoffen in zandwinputten	**o**
	Opslag radio-actief afval	**o**
	CO_2-opslag	**o**
	Brijnlozingen	**o**
	Kunstmatige infiltratie voor drinkwaterproductie (ASR)	**o**
Reserveringen	Bewaren van biodiversiteit/habitat van de ondergrond	**+**
	Bewaren van cultuurhistorische en archeologische waarden	**o**
	Reservering strategische grondwatervoorraden	**o**
Winning grondstoffen	Grind, zand en klei	**o**
	Bruinkoolwinning Naar Duits voorbeeld	**o**
	Zoutwinning	**o**
	Schaliegaswinning (incl. gebruik grondwater als proceswater)	**o**
	Olie- en gaswinning	**o**
	Geothermie	**o**
Ruimtebeslag	Ondergrondse infrastructuur	**o**
	aanpak grondwaterverontreiniging, incl. in-situ saneringen	**o**
Peilbeheer	Peilbeheer laag Nederland	**+/-**
	Peilbeheer hoog Nederland	**o**
Bovengrondse activiteiten	Beheer terrestrische/aquatische ecosystemen	**+**
	Recreatie (sportvisserij, natuurbeleving, thermae2000)	**o**
	Bodemafdichting	**o**
	Toepassen van meststoffen en bestrijdingsmiddelen	**-**
	Diffuse bodembelasting stedelijk gebied	**-**

De activiteiten met een negatieve invloed zijn:

- Toepassen meststoffen en bestrijdingsmiddelen
- Diffuse bodembelasting stedelijk gebied
  Deze activiteiten doen rechtstreeks een beroep op de ESD *Reinigend vermogen van de ondergrond* en hebben daarmee een potentieel negatieve invloed op het bufferend vermogen in de natuurlijke cycli. Het ruimtebeslag voor de aanpak van grondwaterverontreiniging wordt als een activiteit met een neutraal effect gezien. Enerzijds zal een in situ bodemsanering het systeem belasten, anderzijds wordt voor de toekomst juist een bedreiging weggenomen.

Activiteiten met een positieve invloed volgens tabel 2 zijn:

- Beheer terrestrische ecosystemen

- Reserveringen voor bewaren biodiversiteit
  Bovengronds en ondergronds ecosysteem zijn nauw met elkaar verbonden. Bij deze activiteiten is er aandacht voor het bewaren van de natuurlijke omstandigheden voor infiltratie en grondwaterstroming, en ook voor het tegengaan van immissies die het bufferend vermogen te sterk belasten. Dit heeft dus een gunstig effect op het ondergrondsysteem.

Een activiteit die zowel een positieve invloed als negatieve invloed kan hebben is:

- Peilbeheer laag Nederland
  Peilverlaging in veengebieden leidt tot meer emissie van CO2 en tot extra uitspoeling van stikstof en fosfaat. Dit beïnvloedt de kringlopen voor deze stoffen op een ongewenste manier. Peilbeheer dat dit probeert te voorkomen, bijvoorbeeld plasdras, is dan juist gunstig. Het peilbeheer in hoog Nederland (zandgebieden) wordt als een neutrale activiteit gezien. Zoals eerder aangegeven kan grondwaterstandsverlaging hier ook nadelig zijn, bijvoorbeeld omdat het leidt tot oxidatie van pyriet in de ondergrond, maar in de hoge zandgebieden is dit vooral het gevolg van onttrekkingen en niet van peilbeheer.

Er is ook een aantal activiteiten die in Broers & Lijzen (2014) als neutraal gezien worden (tabel 2), maar die op grond van de systeembeschrijving hierboven toch als ongunstig moeten worden beschouwd:

- Bodemafdichting
- Ruimtebeslag voor ondergrondse infrastructuur
  Bodemafdichting heeft een duidelijke negatieve impact, omdat het de verbinding tussen atmosfeer en bodem verbreekt, en daarmee de uitwisseling van water en nutriënten die de kringloop mogelijk maakt. Ook andere activiteiten die de infiltratie van regenwater beperken (en directe afstroming naar het oppervlaktewatersysteem versterken), zoals bodemverdichting of activiteiten die tot bodemerosie leiden hebben een negatieve impact op de ESD *Biogeochemische cycli*. Ondergrondse infrastructuur kan hier ook negatief aan bijdragen, en verder ook het natuurlijke ondergrondse stromingspatroon veranderen. Daarnaast vermindert de aanwezigheid van ondergrondse infrastructuur in principe de capaciteit van het ondergrondse systeem.

3.2 Maatregelen om de ESD te optimaliseren

In paragraaf 1.2 is al aangegeven wat de randvoorwaarden zijn om de ESD *Biogeochemische cycli* in stand te houden, en in paragraaf 3.1 zijn een aantal activiteiten genoemd die het functioneren van deze ESD in positieve of negatieve zin kunnen beïnvloeden. Bij de definitie van deze ESD als het 'natuurlijk' functioneren van de cycli is de gedachte of aanname dat het natuurlijke systeem voor zichzelf optimaal is, maar wel gevoelig voor aantasting door menselijk handelen. Vanuit die gedachte zijn dan vooral 'conserverende' maatregelen van belang en het waar mogelijk en haalbaar vermijden van maatregelen met een negatieve invloed. Een voorbeeld hiervan is het hierboven al genoemde beheer van ecosystemen. Andere maatregelen zijn het beperken van bodemafdichting en aandacht voor duurzaam stedelijk waterbeheer.

3.3 Toekomstige trends die invloed hebben op de ESD

De ESD *Biogeochemische cycli* is gedefinieerd als onderdeel in een globaal
systeem van water- en stofkringlopen, die voor een (quasi) steady state in de samenstelling van atmosfeer, oppervlaktewateren, grondwaterlichamen en de biogeochemische zones in bodem en ondergrond kunnen zorgen. Alles wat tot verandering leidt van de bestaande biogeochemische situatie in de ondergrond, is potentieel van invloed op het functioneren van deze ESD. Het gaat daarbij zowel om invloeden op de waterhuishouding als op emissies/immissies van stoffen. Wel moet een onderscheid gemaakt worden tussen lokale effecten, bijvoorbeeld als gevolg van intensieve benutting van de ESD *Reinigend vermogen van de ondergrond*, en impact op de geochemische cycli op wereldschaal, bijvoorbeeld in relatie tot klimaatverandering.

De nog steeds toenemende emissies van CO_2 verstoren de steady state in de koolstofcyclus, waarbij ook een extra beroep wordt gedaan op het zuurbufferend vermogen van de ondergrond. De klimaatverandering die het gevolg is van de emissies van CO_2 en andere broeikasgassen heeft invloed via de veranderende neerslagpatronen, die in het algemeen de balans tussen infiltratie en afstroming ongunstig beïnvloeden. De temperatuurstijging als zodanig zal niet van veel invloed zijn, ook omdat de ondergrond zelf een uitstekende temperatuurbuffer is (zie de ESD *Temperatuur-regulatie*).

De toenemende verstedelijking leidt, ook bij gelijkblijvende of krimpende bevolking, tot een groter areaal afgedekte bodem. De gebiedsgerichte aanpak van verontreinigd grondwater in stedelijke gebieden kan op termijn gaan conflicteren met de drinkwaterwinning. Concentratie van grondwaterwinning in een beperkter areaal, zou in dat geval lokaal tot overbenutting van het grondwatersysteem kunnen leiden, met gevolg-effecten voor de waterhuishouding in een groter gebied. Ook bij intensivering van grondwatergebruik (of benutting) voor andere toepassingen, zoals geothermie, winning van schaliegas, of tijdelijke ondergrondse opslag van water, is aandacht nodig voor effecten op de waterhuishouding. Verdere intensivering van de landbouw, ook - of misschien wel vooral - voor de biobased economy, kan leiden tot extra gebruik van meststoffen en bestrijdingsmiddelen, die het systeem belasten. Het telen van andere gewastypen kan weer van invloed zijn op de waterhuishouding.

De toenemende aandacht voor duurzame ontwikkeling, in zowel landbouw, industrie en stedelijke inrichting, leidt tot een groeiend en beter bewustzijn van het belang van deze basis-ESD. Dit kan bijdragen aan het beschermen en duurzamer benutten van de ESD *Biogeochemische cycli.*

4 Beschikbare data over ESD

Er is een grote hoeveelheid ruimtelijke informatie beschikbaar, die relevant is om de ESD *Biogeochemische cycli,* ook in kwantitatieve zin, te kunnen beschrijven.

Het Nationaal Hydrologisch Instrumentarium (NHI) is ontwikkeld om voor heel Nederland een model te bieden van de hydrogeologie en grondwaterstroming (www2.dinoloket.nl). Het NHI is een geïntegreerd landsdekkend grond- en oppervlaktewatermodel van Nederland met een resolutie van 250 x 250 m^2. Het is gebaseerd op **REGIS-II, een set van regionale** digitale bestanden met hydrogeologische informatie op schaal 100 x 100 m^2. Deze informatie vormt de basis voor regionale grondwatermodellen en is, aangevuld met lokale (boor)informatie, uitgangspunt voor lokale grondwatermodellen.

Bovengronds is het bodemgebruik (http://www.compendiumvoordeleefomgeving.nl) landsdekkend in beeld, op basis waarvan infiltratie en waterverdamping in de hydrologische modellen kan worden meegenomen. Ook kan hieruit de input van stoffen worden afgeleid.
Voor wat betreft het bufferend vermogen is voor het bovenste deel van de ondergrond informatie beschikbaar via de bodemkarteringen en het Bodem Informatie Systeem (BIS, http://maps.bodemdata.nl/). Voor de diepere ondergrond werkt TNO, in het kader van haar taak van de geowetenschappelijke informatievoorziening, aan een geochemische en fysische karakterisering (TOPINTEGRAAL-project). Het betreft het deel van de ondergrond dat met geotop (voorheen topsysteem) wordt aangeduid (Vermooten et al., 2005). Hierbij worden voor de 27 geotopgebieden (geologisch/landschappelijk gedefinieerde regio's), en per aanwezige geologische formatie, de zuurbuffercapaciteit, de reductiecapaciteit, het pyrietgehalte, de sorptiecapaciteit, de natuurlijke en actuele chemische samenstelling en de associatie van sporen- en hoofdelementen en de mineralen waarin die elementen waarschijnlijk voorkomen, op statistische wijze gekarakteriseerd.
Voor wat betreft de opslag van stoffen in het grondwatersysteem zijn het Landelijk Meetnet Grondwaterkwaliteit (http://www.rivm.nl/Onderwerpen/L/Landelijk_Meetnet_Grondwaterkwaliteit) en de grondwaterkwaliteits-meetnetten van provincies en drinkwaterbedrijven relevant.

Het benoemen van een enkele indicator is minder eenvoudig, omdat deze ESD 'van nature' eigenlijk overal aanwezig is. Wat de ESD precies betekent - en zou moeten betekenen - is van plek tot plek verschillend. De aanwezigheid van (hoogwaardige) natuur zou de aanwezigheid van de ESD impliceren, volledige bodemafdekking kan gezien worden als indicatief voor de *lokale afwezigheid* van deze ESD.

Opstellers:
Pauline van Gaans (Deltares, Hoofdauteur en contactpersoon)
Michiel Rutgers (RIVM)

Referenties

Appelo, C. A. J. & Postma, D. (2005). *Geochemistry, groundwater and pollution*. CRC Press, 2005.

Broers en Lijzen, 2014. *Afwegingen bij het gebruik van grondwater en de ondergrond. Een verkenning op basis van ecosysteemdiensten.* Deltares rapport 1207762-016, RIVM-rapportnr. 607710003/2014.

Drever, James I. (1997).*The geochemistry of natural waters: surface and groundwater environment*

Vermooten, J.S.A., Vasak, L., Griffioen, J., Klaver, G.T., Vernes, R.W. and Weerts, H.J.T., 2005.
Afbakening van het topsysteem voor de kartering van de reactiviteit van de Nederlandse ondergrond. NITG Rapport 05-121-A, TNO Bouw en Ondergrond.

Bijlage 7

Ecosysteemdienst 7: Temperatuurregulatie van de ondergrond

Inhoud

1. Beschrijving van de Ecosysteemdienst — 114
1.1 Korte beschrijving — 114
1.2 Beschrijving van het systeem in relatie tot de ESD — 114

2 Gebruik van de ESD — 117

3 Relaties tussen de Ecosysteemdienst, activiteiten en maatregelen — 119
3.1 Hoe wordt de ESD beïnvloed — 119
3.2 Maatregelen om de ESD te optimaliseren — 120
3.3 Toekomstige trends die invloed hebben op ESD — 121

4 Beschikbare data over ESD — 122

Belangrijkste conclusies en aanbevelingen:

Temperatuurregulatie heeft zijn basis in de ondergrond. Onder temperatuurregulatie wordt de instandhouding van een vrij constante temperatuur bedoeld. Doordat de ondergrond een vrij constante temperatuur heeft, kan deze ook elders benut worden. Dit komt voornamelijk doordat verdamping van (grond)water tot een verkoelend effect leidt. Deze ESD is zowel in het stedelijk gebied als in het landelijk gebied aanwezig. Met verschillende maatregelen kan deze ESD in stand worden gehouden en worden gestimuleerd, bijvoorbeeld door voorkomen van afdekking van de bodem en door peilbeheer gericht op hogere grondwaterstanden.

Door activiteiten in de ondergrond, zoals opslag van warmte en koude, (WKO) kan de temperatuur van de ondergrond veranderen. Over de effecten hiervan op de temperatuurregulatie is nog weinig bekend.

De verwachting is dat klimaatverandering de komende decennia zal leiden tot grotere perioden van hitte en droogte in Nederland. De ecosysteemdienst temperatuur- en vochtregulatie heeft een belangrijke functie in het bufferen van deze effecten. De ecosysteemdienst wordt er echter ook door bedreigd doordat hitte en droogte leiden tot een toenemende vraag naar onttrekking van zoet water voor drinkwater, irrigatiewater en koelwater. Deze onttrekkingen leiden tot dalende grondwaterstanden. Hierdoor neemt de verdamping af en daarmee het temperatuurregulerend effect.

1 Beschrijving van de Ecosysteemdienst

1.1 Korte beschrijving

Temperatuurregulatie wordt mogelijk gemaakt door de constante lage temperatuur van de ondergrond. Grondwaterkwel zorgt voor het in stand houden van de oppervlaktewatertemperatuur. De verdamping van (oppervlakte)water en van groen leidt tot een temperatuurdaling aan het aardoppervlak. Deze constante lage temperatuur van de ondergrond zorgt hierdoor voor de instandhouding van de temperatuur-, vocht- en klimaatcondities aan het aardoppervlak. Via terugkoppelingsmechanismen kan dit leiden tot regulatie van het lokale en mogelijk ook mondiale klimaat (Klein Tank en Lenderink, 2009). Temperatuur- en vochtregulatie zijn een hernieuwbare ecosysteemdienst.

1.2 Beschrijving van het systeem in relatie tot de ESD

- Temperatuurbufferende werking van het grondwater: Doordat het grondwater in Nederland een vrij constante temperatuur heeft van 10 graden Celsius, heeft het een sterk temperatuurbufferend effect en is daardoor geschikt voor allerlei doeleinden. Voeding van het grondwater vindt grotendeels plaats in de winterperiode, waarin de luchttemperatuur en dus ook de neerslagtemperatuur laag is. De 10 graden reflecteert min of meer de gemiddelde luchttemperatuur in Nederland. Over een diepte van 200 meter neemt de temperatuur slechts om en nabij de 3 graden Celsius toe (Kooi, 2008). Doordat het water zich in de ondergrond bevindt, veelal afgedekt door sedimentlagen en vegetatie, ondervindt het geen directe opwarming door zonnestraling. Het grondwatervolume in de ondergrond is groot en stroomt langzaam. Hierdoor vindt relatief weinig menging plaats waardoor temperatuurveranderingen slechts langzaam plaatsvinden en de temperatuur vrij constant blijft.

- Temperatuurregulatie van oppervlaktewater door kwel: Door de aanvoer van grondwater met een constant lage temperatuur naar oppervlaktewater wordt de oppervlaktewatertemperatuur in stand gehouden dan wel gebufferd. De dieptes van de grondwaterstand en –stijghoogte bepalen mede in hoeverre het grondwater kan optreden als voeding voor vegetatie en oppervlaktewater. De grondwaterstand wordt beïnvloed door menselijke ingrepen zoals onttrekkingen voor verschillende doeleinden. Omdat een ondiepe grondwaterstand met peilbeheer sterk te beïnvloeden is, kan peilbeheer een belangrijke sturende factor zijn in de temperatuurregulatie.

- Temperatuurregulatie aan het aardoppervlak door vegetatie: In het stedelijk gebied is tijdens warme periodes de opwarming over het algemeen groter dan in het landelijk gebied er omheen (urban heat island). Dit wordt veroorzaakt doordat de warmteabsorptie door bebouwing groter is en er minder verkoeling plaatsvindt door verdamping van groen. Stedelijk groen heeft echter ook een verkoelend effect. Het verschil in

luchttemperatuur tussen een park en het omliggend gebouwd gebied is 1 graad Celsius en kan oplopen tot 6 graden Celsius (Dopp, 2011). Een studie van de gemeente Rotterdam laat zien dat met een toename van 10% groen in het stedelijk gebied een temperatuurdaling van 1 graad Celsius kan worden gerealiseerd (Klok et al., 2010). Het verkoelende effect van vegetatie is groter dan het verkoelende effect dat wordt veroorzaakt door verdamping van (oppervlakte)water (Muller et al., 2014). Bomen en planten verkoelen de omgeving niet alleen door verdamping maar zorgen ook voor schaduw waardoor de omgeving minder opwarmt.

- Temperatuurregulatie aan het aardoppervlak door verdamping van oppervlaktewater: Het verkoelende effect van water wordt bepaald door het oppervlak aan water, omvang en de verspreiding van het water over het gebied in relatie tot de windrichting (Theeuwes et al., 2013). Grotere wateren hebben een groter temperatuur effect op de nabije omgeving. Kleinere wateren, bijvoorbeeld verspreid over een stad, hebben een kleiner temperatuureffect op de directe omgeving maar beïnvloeden een groter gebied van de stad. Hoewel door verdamping de temperatuur wordt verlaagd, neemt de luchtvochtigheid toe wat ongunstig is voor de gevoelstemperatuur. Het verkoelende effect van vegetatie en oppervlaktewater is niet alleen van belang in het stedelijk gebied. De koelte in vochtige en groene gebieden is aantrekkelijk voor recreatie doeleinden.

- Invloed van temperatuurregulatie op landbouw: Het temperatuurregulerende effect is ook van belang voor de landbouw. Voor een zo lang mogelijk groeiseizoen is een zo droog mogelijke grond in voor- en najaar gewenst. Afgezien van het weer speelt vooral de ontwatering hierin een grote rol. Bovengronden met hoge bodemluchtgehalten (droge zand- en veengronden, met diepe grondwaterstanden) reageren het snelst op straling en warmen daarmee in het voorjaar het snelst op. Keerzijde is dat ook nachtelijke uitstraling vanuit dergelijke bovengronden de grootste temperatuurinvloed heeft waardoor bij de 'warmste' gronden tevens het meest 'vorst aan de grond' optreedt en daarmee nachtvorstschade. Voorjaarsgrondwaterstanden dieper dan 80 cm (dekzand, veen) á 1,2 m (zavel) hebben nauwelijks een extra effect meer op de snelheid waarmee de bovengrond in het voorjaar of na regen opdroogt, maar kunnen wel leiden tot een diepere zomergrondwaterstand en daarmee mogelijk tot onnodige droogteschade (Huinink, 2011).

- Doorlatendheid van de ondergrond: Zowel voor temperatuurregulatie als voor vochtregulatie is de doorlatendheid van de ondergrond van belang. Een goed doorlatende bodem is in staat vocht op te nemen en vast te houden. Daarnaast zorgt een goed doorlatende bodem ervoor dat water kan worden opgenomen door planten. Verdamping door groen en oppervlaktewater zorgt er vervolgens voor dat een verkoelend effect optreedt aan het aardoppervlak. . De doorlatendheid van

de bodem wordt bepaald door het bodemtype, organische stofgehalte, bodemstructuur, etc.

- Afdekking van de bodem: Door het afdekken van de bodem wordt het vocht- en temperatuurregulerend effect van de ondergrond tegengegaan. Hemelwater kan niet meer worden opgevangen door de bodem. Daarnaast treedt er geen verkoelend effect op door verdamping van oppervlaktewater of evapotranspiratie via transport van grondwater naar de bovengrond.

- Aanvulling van het grondwater: Een voorwaarde voor een duurzame benutting van deze ecosysteemdienst is dat er voldoende aanvulling van de grondwatervoorraad plaats vindt ten opzichte van wat wordt onttrokken (zie ook ESD 'voldoende grondwater van goede kwaliteit'). Het is namelijk van belang dat de grondwaterstanden voldoende hoog zijn. Door te lage grondwaterstanden nemen de aanvoer van grondwater (kwel) naar oppervlaktewater en natuur en de verdamping af.

2 Gebruik van de ESD

Door Broers en Lijzen (2014) is een overzicht gegeven van de activiteiten die gebruik maken van de ecosysteemdienst temperatuurregulatie. Deze worden hier kort geschetst. Een overzicht van de activiteiten die gebruik maken van de ecosysteemdienst staat weergegeven in tabel 1.

Tabel 1: Relatie tussen de ecosysteemdienst 'beschikbaarheid voldoende water van een bepaalde kwaliteit' en de activiteiten (uit Broers en Lijzen, 2014). J = activiteit maakt gebruik van de ecosysteemdienst, N = activiteit maakt geen gebruik van de ecosysteemdienst.

Activiteit	Specifieke activiteit	ESD7
Onttrekkingen	Drinkwater	J
	Irrigatie uit grondwater	N
	Proceswater	J
	Koelwater	J
	Bouwactiveiten	N
	Beheer, sanering grondwaterverontreinigingen	N
Opslag	Opslag van regenwater voor proceswater	N
	Warmte en koude opslag	J
	Berging van (verontreinigd) sediment of afvalstoffen in zandwinputten	N
	Opslag radio-actief afval	J
	CO_2-opslag	J
	Brijnlozingen	N
	Kunstmatige infiltratie voor drinkwaterproductie (ASR)	J
Reserveringen	Bewaren van biodiversiteit/habitat van de ondergrond	J
	Bewaren van cultuurhistorische en archeologische waarden	J
	Reservering strategische grondwatervoorraden	J
Winning grondstoffen	Grind, zand en klei	N
	Zoutwinning	N
	Schaliegaswinning (incl. gebruik grondwater als proceswater)	N
	Olie- en gaswinning	N
	Geothermie	J
Ruimte beslag	Ondergrondse infrastructuur	N
	in-situ saneringen	N
Peilbeheer	Peilbeheer laag Nederland	N
	Peilbeheer hoog Nederland	N
Bovengrondse activiteiten	Beheer terrestrische/aquatische ecosystemen	J
	Recreatie (sportvisserij, zwemwater, natuurbeleving, thermae2000)	J
	Bodemafdichting	N
	Toepassen van meststoffen en bestrijdingsmiddelen	N
	Diffuse bodembelasting stedelijk gebied	N

- Drinkwater, proceswater en koelwater: De temperatuurbufferende werking van de ondergrond leidt in Nederland tot een vrij constante grondwatertemperatuur van circa 10 graden C. Vanwege deze constante en lage temperatuur is dit grondwater geschikt als bron voor drinkwater, proceswater en koelwater. Bij dergelijke lage temperaturen zal de groei van bacteriën lager zijn dan bij hogere temperaturen.
- WKO: de ecosysteemdienst kan benut worden in koude–(opslag)installaties. De lage temperatuur van het grondwater

maakt het aantrekkelijk om de het te gebruiken voor koeling van bijvoorbeeld gebouwen.

- Bewaren van biodiversiteit/habitat van de ondergrond: De biodiversiteit in de ondergrond is aangepast aan de constante en lage temperatuur van het grondwater (zie factsheet ESD biodiversiteit). Veranderingen hierin kunnen leiden tot verstoring van de biodiversiteit.
- Geothermie: In Nederland wordt geothermie gebruikt voor het verwarmen van kassen. Het warme grondwater op grote diepte wordt opgepompt en gebruikt als warmtebron (zie factsheet ESD Energie)
- Beheer terrestrische/aquatische ecosystemen: De kwelstromen met constante lage temperatuur dragen bij aan temperatuurregulatie van het oppervlaktewater en terrestrische natuur.
- Recreatie: Recreatie in vochtige en groene gebieden is mede aantrekkelijk vanwege de koelte die daar heerst op momenten dat het elders heel heet is. Mensen zoeken dan verkoeling nabij het water en groen.
- Kunstmatige infiltratie voor drinkwaterproductie: Bij kunstmatige infiltratie wordt de temperatuur van het geïnfiltreerde water gebufferd door de constante en lage temperatuur van de ondergrond. Bovengronds opslaan van water is veel minder efficiënt door verslechtering van de waterkwaliteit door lange verblijftijden en verdamping in perioden met hoge temperaturen.

3 Relaties tussen de Ecosysteemdienst, activiteiten en maatregelen

3.1 Hoe wordt de ESD beïnvloed

Door Broers en Lijzen (2014) is een overzicht gegeven van de activiteiten die de ecosysteemdienst temperatuurregulatie beïnvloeden. Een overzicht van de beïnvloeding van de ESD door verschillende activiteiten staat weergegeven in tabel 2. De invloed van de verschillende activiteiten op de ESD wordt in onderstaande tekst besproken per hoofdactiviteit.

Tabel 2: Beïnvloeding van ecosysteemdiensten door de activiteiten in de boven- en ondergrond.
+ = positieve invloed van activiteit op het in stand houden of vergroten van de ESD
- = negatieve invloed van activiteit op ESD (vermindering dienst)
+/- = zowel positieve als negatieve invloed mogelijk, afhankelijk van tijdsschaal of invalshoek
O = geen positieve en/of negatieve invloed van de activiteit
?= onbekend
(?) achter een ander teken zoals een +(?) dan is het effect onzeker.

Activiteit	Specifieke activiteit	ESD7
Onttrekkingen	Drinkwater	o
	Irrigatie uit grondwater	+/-
	Proceswater	o
	Koelwater	+/-
	Bouwactiveiten	o
	Onttrekking tbv beheer en saneringen grondwaterverontreinigingen	o
Opslag	Opslag van regenwater voor proceswater	o
	Warmte en koude opslag	+/-
	Berging van (verontreinigd) sediment of afvalstoffen in zandwinputten	o
	Opslag radio-actief afval	o
	CO_2-opslag	o
	Brijnlozingen	o
	Kunstmatige infiltratie voor drinkwaterproductie (ASR)	o
	NWRM	
Reserveringen	Bewaren van biodiversiteit/habitat van de ondergrond	o
	Bewaren van cultuurhistorische en archeologische waarden	o
	Reservering strategische grondwatervoorraden	o
Winning grondstoffen	Grind, zand en klei	o
	Bruinkoolwinning Naar Duits voorbeeld	o
	Zoutwinning	o
	Schaliegaswinning (incl. gebruik grondwater als proceswater)	o
	Olie- en gaswinning	o
	Geothermie	o
Ruimtebeslag	Ondergrondse infrastructuur	o
	aanpak grondwaterverontreiniging, incl. in-situ saneringen	o
Peilbeheer	Peilbeheer laag Nederland	+/-
	Peilbeheer hoog Nederland	+/-
Bovengrondse activiteiten	Beheer terrestrische/aquatische ecosystemen	+
	Recreatie (sportvisserij, natuurbeleving, thermae2000)	o
	Bodemafdichting	o
	Toepassen van meststoffen en bestrijdingsmiddelen	o
	Diffuse bodembelasting stedelijk gebied	o

- Irrigatie uit grondwater en koelwater: Door onttrekkingen in het algemeen (openbare en industriële winningen, peilbeheer voor landbouwgebied) daalt de grondwaterspiegel. Hiermee neemt de verdamping af en wordt het temperatuurregulerend vermogen van de ondergrond negatief beïnvloed. Door de grondwatervoorraden aan te tasten, wordt het vermogen tot temperatuurregulatie van de ondergrond verminderd.
- WKO: Het water, dat wordt opgeslagen in de ondergrond om daarna te worden gebruikt in WKO systemen, warmt het grondwater plaatselijk op of koelt het af afhankelijk van het gebruik voor verkoeling of verwarming. Dit beïnvloedt lokaal de temperatuur van het grondwater. Wanneer een thermische onbalans ontstaat, bijvoorbeeld doordat meer vraag is naar koeling dan verwarming (industrie) of andersom (woningen), kan de ondergrond respectievelijk lokaal langzaam opwarmen of juist afkoelen (IF Technology , 2007, en Vanhoudt e.a., 2011). Het gaat echter om beperkte temperatuurverschillen (enkele graden). Gezien de diepte waarop dit gebeurt (vanaf enkele tientallen meters tot ca. 100 meter diepte) zal dit niet zo snel de temperatuur van het ondiepe grondwater en het aardoppervlak verhogen.
- Beheer terrestrische en aquatische ecosystemen: Voor het beheer van terrestrische en aquatische ecosystemen wordt ernaar gestreefd de grondwaterstand hoog te houden. Hierdoor neemt de verdamping toe en ontstaat er een gunstig effect op het vocht- en temperatuurregulerend vermogen van de ondergrond.

3.2 Maatregelen om de ESD te optimaliseren

Om de ecosysteemdienst temperatuur- en vochtregulatie optimaal te kunnen benutten, is het van belang dat uitwisseling van vocht en lucht tussen ondergrond, bovengrond en het aardoppervlak mogelijk is. De volgende maatregelen kunnen worden genoemd:

- Het tegengaan van afdekking van de bodem is een belangrijke maatregel om de ESD te optimaliseren.
- Ook het reguleren van het ruimtegebruik in de ondergrond is van belang.
- Daarnaast draagt het investeren in een goede bodemstructuur en bodemvruchtbaarheid bij aan een optimale uitwisseling van vocht en lucht tussen de ondergrond en het aardoppervlak.
- Het verkoelend effect door verdamping wordt maximaal benut door de aanwezigheid van oppervlaktewater, natuurgebieden en stedelijk groen. Investeren in de aanleg en het beheer hiervan is daarom een goede maatregel op het gebied van temperatuurregulatie.
- Daarnaast is het van belang dat de grondwaterstanden op peil worden gehouden. Maatregelen die hieraan bijdragen zijn verhoging oppervlaktewaterpeilen in laag Nederland, verhoging/demping sloot- en beekbodems, beperking drainage, onttrekkingen en kunstmatige infiltratie (zie ook factsheet bergingscapaciteit).

3.3 Toekomstige trends die invloed hebben op ESD

- De verwachting is dat klimaatverandering de komende decennia zal leiden tot grotere perioden van hitte en droogte in Nederland. De ecosysteemdienst temperatuur- en vochtregulatie heeft een belangrijke functie in het bufferen van deze effecten van klimaatverandering (zie paragraaf 1.2).
- Door klimaatverandering ontstaat er een toenemende vraag naar onttrekking van zoet water voor drinkwater, irrigatiewater en koelwater. Bij onvoldoende aanvulling van het grondwater kunnen deze onttrekkingen leiden tot dalende grondwaterstanden. Hierdoor neemt de verdamping af en daarmee het temperatuurregulerend effect.
- Ook de toenemende trend om landbouwpercelen ’s winters te drainaren en ’s zomers grondwater te onttrekken voor beregening leidt tot een daling van grondwaterstanden.
- Door de toenemende verstedelijking neemt het afgedekt aardoppervlak toe. Door afdekking van het oppervlak neemt de verdamping door groen en oppervlaktewater af en wordt minder water opgenomen en vastgehouden in de ondergrond. Hierdoor kunnen ook de grondwaterstanden dalen en kan het temperatuurbufferende vermogen van de ondergrond afnemen.
- Door vergroening van het stedelijke gebied, in het kader van verbeteren kwaliteit van de leefomgeving, ontstaan er mogelijkheden voor toename van het waterbergend vermogen van de ondergrond. Daarnaast is het verkoelende effect van groen belangrijk voor het stedelijk gebied.
- Door stijgende energieprijzen ontstaat er een toenemende behoefte aan WKO. In het stedelijk gebied kan WKO lokaal een negatief effect hebben op de ecosysteemdienst temperatuurregulatie door veranderingen in de grondwatertemperatuur (zie paragraaf 3.1).

4 Beschikbare data over ESD

Temperatuur van het grondwater:
Kooi H (2008) Spatial variability in subsurface warming over the last three decades: insight form repeated borehole temperature measurements in The Netherlands. Earth and Planetary Science Letters. 270. 86-94.

Temperatuurregulatie aardoppervlak door groen en water:
Muller N, W Kuttler, AB Barlag (2014) Counteracting urban climate change: Adaptation measures and their effect on thermal comfort. Theoretical Applied Climatology. 115. 243-257.
Theeuwes NE, A Solcerova, GJ Steeneveld (2013) Modeling the influence of open water surfaces on summertime temperature and thermal comfort in the city. Journal of Geophysical Research: Atmospheres. 118. 8881-8896.
Klok L, H ten Broeke, T van Harmelen, H Verhagen, H Kok, S Zwart (2010) Ruimtelijke verdeling en mogelijke oorzaken van het hitte-eiland effect. TNO: Utrecht. TNO rapport: TNO-034-UT-2010-01229_RPT-ML.
Dopp S (2011) Kennismontage hitte en klimaat in de stad. TNO: Utrecht. TNO rapport: TNO-060-UT-2011-01053.
Claessens JW, D Schram-Bijkerk, EM Dirven-van Breemen, DA Houweling, H van Wijnen (2012) Bodem als draagvlak voor een klimaatbestendige en gezonde stad. RIVM: Bilthoven. RIVM rapport: 607050011/2012.

Temperatuurregulatie en landbouw:
Huinink JThM (2011) Bodemgeschiktheidsbeoordeling voor Landbouw, Bosbouw en Recreatie. T.b.v een optimalisatie van grondwater- en oppervlaktewaterpeilbeheer.
State of the art 2011. BodemConsult-Arnhem
(http://edepot.wur.nl/175349)

Temperatuurregulatie en WKO:
IF Technology (2007) Koude/warmteopslag in de praktijk. Meetgegevens van 67 projecten. Rapportnummer 2/56280/MaK.
Vanhoudt, D., J. Desmedt, J. van Bael, N. Robeyn en H. Hoes (2011) An aquifer thermal storage system in a Belgian hospital: Long-term experimental evaluation of energy and cost savings. In: Energy and Buildings 43 (2011) 3657-3665.

Afdekking stedelijk gebied:
GIS kaarten

Eigenschappen van de ondergrond:
Bodemkwaliteitskaarten en grondwaterkaarten

Klimaatverandering:
Klein Tank, A.M.G. en G. Lenderink (red.), 2009: Klimaatverandering in Nederland;
Aanvullingen op de KNMI'06 scenario's, KNMI, De Bilt.
(http://www.klimaatscenarios.nl/brochures/images/KNMIbrochure_Aanvullingen_op_KNMI06_2009.pdf)

http://www.ruimtevoorklimaat.nl/home
http://www.kennisvoorklimaat.nl/
http://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/deltaprogramma
http://www.deltacommissaris.nl/deltaprogramma/deelprogrammas/zoetwater/

Opstellers:
J. Claessens (RIVM, contactpersoon)
M. Kuijper (Deltares)

Referenties

- Broers en Lijzen, 2014. Afwegingen bij het gebruik van grondwater en de ondergrond. Een verkenning op basis van ecosysteemdiensten. Deltares rapport 1207762-016, RIVM-rapportnr. 607710003/2014.
- Dopp S (2011) Kennismontage hitte en klimaat in de stad. TNO: Utrecht. TNO rapport: TNO-060-UT-2011-01053.
- Huinink JThM (2011) Bodemgeschiktheidsbeoordeling voor Landbouw, Bosbouw en Recreatie. T.b.v een optimalisatie van grondwater- en oppervlaktewaterpeilbeheer. State of the art 2011. BodemConsult-Arnhem (http://edepot.wur.nl/175349)
- Klein Tank, A.M.G. en G. Lenderink (red.), 2009: Klimaatverandering in Nederland; Aanvullingen op de KNMI'06 scenario's, KNMI, De Bilt. http://www.klimaatscenarios.nl/brochures/images/KNMIbrochure_Aanvullingen_op_KNMI06_2009.pdf)
- Klok L, H ten Broeke, T van Harmelen, H Verhagen, H Kok, S Zwart (2010) Ruimtelijke verdeling en mogelijke oorzaken van het hitte-eiland effect. TNO: Utrecht. TNO rapport: TNO-034-UT-2010-01229_RPT-ML.
- Kooi H (2008) Spatial variability in subsurface warming over the last three decades: insight form repeated borehole temperature measurements in The Netherlands. Earth and Planetary Science Letters. 270. 86-94.
- Muller N, W Kuttler, AB Barlag (2014) Counteracting urban climate change: Adaptation measures and their effect on thermal comfort. Theoretical Applied Climatology. 115. 243-257.
- Theeuwes NE, A Solcerova, GJ Steeneveld (2013) Modeling the influence of open water surfaces on summertime temperature and thermal comfort in the city. Journal of Geophysical Research: Atmospheres. 118. 8881-8896.

Bijlage 8

Ecosysteemdienst 8: Voorzien in watervoerendheid en waterkwaliteit oppervlaktewater

Inhoud

1. Beschrijving van de Ecosysteemdienst — 127
1.1. Korte definitie — 127
1.2. Beschrijving van het systeem — 127

2. Gebruik van de Ecosysteemdienst — 129

3. Relaties tussen de Ecosysteemdienst, activiteiten en maatregelen — 131
3.1. Hoe wordt de Ecosysteemdienst beïnvloed? — 131
3.2. Maatregelen om de ESD te optimaliseren — 132
3.3. Toekomstige trends die invloed hebben op de ESD — 133

4. Beschikbare data over ESD — 134

Belangrijkste conclusies en aanbevelingen:

Grondwater draagt bij aan de watervoerendheid van beken, sloten en rivieren en voorziet daarmee in de behoeften van aquatische ecosystemen en in bevaarbaarheid van rivieren voor de scheepvaart. Deze basisafvoer van grondwater heeft een belangrijke mitigerende en bufferende functie in perioden van droogte, waardoor beken niet droogvallen en bovendien water van voldoende kwaliteit blijven voeren.

Deze ecosysteemdienst hangt sterk af van de kwantitatieve en kwalitatieve toestand van het grondwaterlichaam dat het betreffende oppervlaktewaterlichaam voedt. Een afname van de grondwatervoorraad en/of een verslechtering van de grondwaterkwaliteit leiden direct tot een afname van deze ecosysteemdienst. Deze ESD is daarom een uitputbare ecosysteemdienst.

Activiteiten waarvan bekend is dat ze ernstig negatieve invloed hebben op het voorzien van voldoende watervoerendheid van voldoende kwaliteit zijn grondwateronttrekkingen en (agrarisch) peilbeheer, inclusief drainage, in hoog en laag Nederland.

Waterconserverende maatregelen leiden over het algemeen tot vergroting van de grondwatervoorraad en daarmee tot een positieve invloed op deze ecosysteemdienst. Enkele voorbeelden van waterconserverende maatregelen zijn:

- Opslag van regenwater in aquifers voor proceswater;
- Kunstmatige infiltratie ten behoeve van drinkwater en gietwater;
- Verhoging van beekbodems en stuwpeilen;
- Reservering van strategische grondwatervoorraden;
- Beheer van terrestrische en aquatische ecosystemen (bijvoorbeeld het grondwaterkwel in stand houden voor natte natuurgebieden in beekdalen).

Een relevante ontwikkeling is dat er een tendens is om beregening voor landbouwgewassen uit grondwater meer vrij te geven omdat, mede door klimaatveranderingen, de verwachting heerst dat in de toekomst minder oppervlaktewater ter beschikking zal zijn. Dit kan een nadelige invloed hebben op de ESD. Daarnaast kan een langzame toename van gedraineerd gebied in Nederland tot verdere daling van grondwaterstanden en uitputting van de ESD leiden. Regelbare drainage (vrij nieuwe ontwikkeling) daarentegen in combinatie met verhoging van beekbodems en/of waterpeilen kan tot een stijging van grondwaterstanden leiden en de ESD ten goede komen.

1 Beschrijving van de Ecosysteemdienst

1.1 Korte definitie

Grondwater draagt bij aan de watervoerendheid van beken en rivieren en voorziet daarmee in de behoeften van aquatische ecosystemen en in bevaarbaarheid van rivieren voor de scheepvaart. Deze basisafvoer van grondwater heeft een belangrijke mitigerende en bufferende functie in perioden van droogte, waardoor beken niet droogvallen en bovendien water van voldoende kwaliteit blijven voeren. Naast beken en rivieren, zijn ook aquatische ecosystemen in estuaria afhankelijk van kwaliteit en kwantiteit van opkwellend grondwater. De ESD 'Voorzien in watervoerendheid en waterkwaliteit oppervlaktewater' is, volgens de CICES (2013) indeling[9], een regulerende ecosysteemdienst.

1.2 Beschrijving van het systeem

Voor oppervlaktewater in Nederland zijn doelstellingen opgesteld en uitgewerkt in de stroomgebiedbeheerplannen voor de Europese Kaderrichtlijn Water (KRW). Voor de aquatische ecologie in Nederlandse oppervlaktewateren is voldoende watervoerendheid belangrijk. Natuur in beken is afhankelijk van voldoende stroming en connectiviteit voor ontwikkeling van het aquatische ecosysteem en voor migratie van vis. In sloten en kreken kan ook sprake zijn van verdroging als te veel water wegzijgt naar omringend gebied met lagere waterpeilen. Om dit te compenseren wordt dan gebiedsvreemd water ingelaten, dat vaak niet de gewenste kwaliteit heeft. In aquatische ecosystemen is bovendien vaak sprake van vermesting door te voedselrijk grondwater of oppervlaktewater. Te voedselrijk water en onvoldoende watervoerendheid leiden tot afname van de biodiversiteit. In grotere rivieren leidt onvoldoende watervoerendheid daarnaast tot belemmeringen voor de scheepvaart.

Laag Nederland: watervoerendheid sloten en kreken
In sloten en kreken in laag Nederland zorgt grondwaterkwel voor toevoer van brak grondwater, wat een vereiste is voor de ontwikkeling van brakminnende vegetatie. In poldersloten waaruit voor de landbouw beregend wordt, vindt 's zomers juist vaak waterinlaat plaats om water op peil te houden en chloride- en nutriëntrijk water door te spoelen.

Hoog Nederland: watervoerendheid beken
De watervoerendheid van beken in hoog Nederland wordt voor een groot deel bepaald door toevoer (kwelstroming) van grondwater. Door een daling van grondwaterstijghoogte, als gevolg van drainage en grondwateronttrekkingen, neemt de grondwaterkwel af. Beken vallen hierdoor droog of water blijft achter stuwen stilstaan. In sommige gevallen zorgen alleen RWZI-effluent of inlaatwater 's zomers nog voor watervoerendheid. In deze gebieden wordt de kwaliteit van het oppervlaktewater dus ook voor een belangrijke mate bepaald door de chemische samenstelling van het opkwellende grondwater. De herkomst van het oppervlaktewater is afhankelijk van de hydrologische

[9] CICES V4.3 (http://cices.eu/). De ESD 'Voorzien in watervoerendheid en waterkwaliteit oppervlaktewater' valt onder de Divisie: Mediation of flows.

omstandigheden (Van der Grift e.a., 2011). Onder droge omstandigheden zal vooral het diepe grondwater een bijdrage leveren aan het oppervlaktewater. Naarmate het natter wordt zullen ondiepere transportroutes (via drainagebuizen en greppels en maaiveldafvoer) steeds meer bij gaan dragen aan de totale afvoer. Onder extreem natte omstandigheden zullen transportroutes door de bodem en/of oppervlakkige afspoeling de waterflux naar het oppervlaktewater domineren.

Goed functionerende kwelafhankelijke natuur, stelt specifieke eisen aan het grondwatersysteem zoals voldoende hoge grondwaterstanden met specifieke dynamiek en voldoende kweldruk van basenrijk grondwater dat niet verontreinigd is. Dit betekent ook dat infiltratiegebieden, waar aanvulling van grondwater plaatsvindt bij voorkeur niet verstoord worden (areaal en waterkwaliteit), schoon en intact zijn (Runhaar et al., 2009). Daarnaast is het van belang dat het toestromende water niet wordt afgevangen door drainagemiddelen (drainbuizen, greppels en sloten) in omliggende gebieden.
Idealiter is de volledige gradiënt van infiltratiegebied naar kwelgebied een aaneengesloten natuurgebied, zonder verontreinigde en ontwaterde gebieden er tussen. Die situatie komt in Nederland echter niet veel meer voor, al wordt daar met de ecologische hoofdstructuur (Natuurnetwerk) wel naar gestreefd.
De ecosysteemdienst 'Voorzien in watervoerendheid en waterkwaliteit van oppervlaktewater' hangt dus sterk af van de kwantitatieve en kwalitatieve toestand van het grondwaterlichaam dat het betreffende oppervlaktewaterlichaam voedt. Een afname van de grondwatervoorraad en/of een verslechtering van de grondwaterkwaliteit leiden direct tot een afname van deze ecosysteemdienst. De ESD 'Voorzien in watervoerendheid en waterkwaliteit oppervlaktewater' is daarom een uitputbare ecosysteemdienst.

Ingrepen in het watersysteem in de afgelopen decennia (onttrekkingen voor drinkwater, beregening en industriewater, drainage van landbouwpercelen en bemesting door de landbouw) hebben een sterke verslechtering tot gevolg gehad, waardoor grondwaterstijghoogten structureel zijn gedaald (Knotters en Jansen, 2005) en de voedselrijkdom van het ondiepe grondwater is toegenomen (Woestenburg en van Tol-Leenders, 2011).

2 Gebruik van de Ecosysteemdienst

De ecosysteemdienst '*Voorzien in watervoerendheid en waterkwaliteit oppervlaktewater*' wordt dus gevormd door voldoende hoge grondwaterstanden die leiden tot toevoer van basenrijk, niet verontreinigd grondwater. De volgende activiteiten maken hier gebruik van (tabel 1):
Kunstmatige infiltratie voor drinkwaterproductie (ASR)
Peilbeheer laag Nederland
Beheer terrestrische/aquatische ecosystemen
Recreatie (sportvisserij, zwemwater, natuurbeleving, thermae2000)

Tabel 1: Relatie tussen de ecosysteemdienst 'Beschikbaarheid voldoende water van een bepaalde kwaliteit' en de activiteiten (aangepast naar Broers en Lijzen, 2014)
.J = activiteit maakt gebruik van de ecosysteemdienst, N = activiteit maakt geen gebruik van de ecosysteemdienst.

Activiteit	Specifieke activiteit	ESD
Onttrekkingen	Drinkwater	N
	Irrigatie uit grondwater	N
	Proceswater	N
	Koelwater	N
	Bouwactiveiten	N
	Beheer, sanering grondwaterverontreinigingen	N
Opslag	Opslag van regenwater voor proceswater	N
	Warmte en koude opslag	N
	Berging van (verontreinigd) sediment of afvalstoffen in zandwinputten	N
	Opslag radio-actief afval	N
	CO_2-opslag	N
	Brijnlozingen	N
	Kunstmatige infiltratie voor drinkwaterproductie (ASR)	J
Reserveringen	Bewaren van biodiversiteit/habitat van de ondergrond	N
	Bewaren van cultuurhistorische en archeologische waarden	N
	Reservering strategische grondwatervoorraden	N
Winning grondstoffen	Grind, zand en klei	N
	Zoutwinning	N
	Schaliegaswinning (incl. gebruik grondwater als proceswater)	N
	Olie- en gaswinning	N
	Geothermie	N
Ruimte beslag	Ondergrondse infrastructuur	N
	in-situ saneringen	N
Peilbeheer	Peilbeheer laag Nederland	J
	Peilbeheer hoog Nederland	N
Bovengrondse activiteiten	Beheer terrestrische/aquatische ecosystemen	J
	Recreatie (sportvisserij, zwemwater, natuurbeleving, thermae2000)	J
	Bodemafdichting	N
	Toepassen van meststoffen en bestrijdingsmiddelen	N
	Diffuse bodembelasting stedelijk gebied	N

Kunstmatige infiltratie van zoetwater voor drinkwaterproductie (ASR) door drinkwaterbedrijven vindt over het algemeen plaats met rivierwater. Toevoer van voldoende en schoon (grond)water draagt bij aan de beschikbaarheid en kwaliteit van rivierwater, waardoor minder zuivering nodig is tijdens de drinkwaterproductie.

Door stroming van grondwater en oppervlaktewater via kwel en infiltratie is het mogelijk om met peilbeheer van het oppervlaktewater de grondwaterstand te beïnvloeden. De natuurfunctie in laag Nederland (natte natuur) vraagt om hoge waterpeilen gedurende het hele jaar. Dit heeft tot gevolg dat natuurgebieden vaak een ander peil hebben dan de omringende landbouwgebieden. Door het verschil in waterpeilen, zoals tussen hoger gelegen veenpolders en diepe droogmakerijen treedt infiltratie (inzijging) op vanuit de gebieden met een hoger peil naar gebieden met een lager peil. Bovendien staan diepe polders ook onder invloed van kwel uit dieper grondwater. Als daar geen water meer zou worden afgevoerd, zouden de diepe polders vollopen. Met het reguleren van waterpeilen kan de mate van inzijging en kwel beïnvloed worden. Zo heeft peilbeheer tot op grote diepte effect, soms wel tot 100 m of dieper.
In West -Nederland worden daarmee ook nutriënten (met name fosfaat en ammonium) aangevoerd naar het oppervlaktewater, omdat in de ondergrond van west Nederland hoge concentraties voorkomen, die waarschijnlijk niet zozeer aan meststoffen maar aan de natuurlijke gesteldheid van de ondergrond kunnen worden toegeschreven. De nutriëntenlast uit kwel maakt het samen met de chloridebelasting nodig om verschillende beheerstrategieën te onderzoeken (Delsman 2013, Louw 2012).
Veel aquatische en terrestrische ecosystemen zijn afhankelijk van grondwaterkwel en het behoud van grondwaterstanden. Daarbij is zowel de kwantiteit als kwaliteit van het opkwellend grondwater belangrijk.
Een vorm van recreatie die direct afhankelijk is van de watervoerendheid en kwaliteit van oppervlaktewater is sportvisserij en de watersport(varen). Ook zwemwater is direct afhankelijk van de aanvoer van voldoende water van goede kwaliteit. Daarnaast maken ook recreanten die wandelen en fietsen langs beken en rivieren, hier indirect gebruik van.

3 Relaties tussen de Ecosysteemdienst, activiteiten en maatregelen

3.1 Hoe wordt de Ecosysteemdienst beïnvloed?

De volgende activiteiten hebben een invloed op de ecosysteemdienst bergingscapaciteit (tabel 2):

Tabel 2: Beïnvloeding van ecosysteemdiensten door de activiteiten in de boven- en ondergrond.
+ = positieve invloed van activiteit op het in stand houden of vergroten van de ESD
- = negatieve invloed van activiteit op ESD (vermindering dienst)
+/- = zowel positieve als negatieve invloed mogelijk, afhankelijk van tijdsschaal of invalshoek
O = geen positieve en/of negatieve invloed van de activiteit
?= onbekend; indien (?) achter een ander teken zoals een +(?) dan is het effect onzeker.

Activiteit	**Specifieke activiteit**	ESD
Onttrekkingen	Drinkwater	–
	Irrigatie uit grondwater	–
	Proceswater	–
	Koelwater	–
	Bouwactiviteiten	–
	Onttrekking tbv beheer en saneringen grondwaterverontreinigingen	–
Opslag	Opslag van regenwater voor proceswater	+
	Warmte en koude opslag	o
	Berging van (verontreinigd) sediment of afvalstoffen in zandwinputten	o
	Opslag radio-actief afval	o/?
	CO2-opslag	o
	Brijnlozingen	o
	Natural water retention measures (NWRM)	+
	Kunstmatige infiltratie voor drinkwaterproductie (ASR)	+
Reserveringen	Bewaren van biodiversiteit/habitat van de ondergrond	o
	Bewaren van cultuurhistorische en archeologische waarden	o
	Reservering strategische grondwatervoorraden	+
Winning grondstoffen	Grind, zand en klei	o
	Bruinkoolwinning Naar Duits voorbeeld	–
	Zoutwinning	o
	Schaliegaswinning (incl. gebruik grondwater als proceswater)	–
	Olie- en gaswinning	o
	Geothermie	o
Ruimtebeslag	Ondergrondse infrastructuur	–
	aanpak grondwaterverontreiniging, incl. in-situ saneringen	o
Peilbeheer	Peilbeheer laag Nederland	+/-
	Peilbeheer hoog Nederland	+/-
Bovengrondse activiteiten	Beheer terrestrische/aquatische ecosystemen	+
	Recreatie (sportvisserij, natuurbeleving, thermae2000)	o
	Bodemafdichting	o
	Toepassen van meststoffen en bestrijdingsmiddelen	–
	Diffuse bodembelasting stedelijk gebied	–

Activiteiten waarvan bekend is dat ze ernstig negatieve invloed hebben op het voorzien van voldoende afvoer zijn grondwateronttrekkingen (zowel voor drinkwater en irrigatie als bij bruinkoolwining, schaliegaswinning en onderbemalingen bij ondergrondse infrastructuur)

en (agrarisch) peilbeheer, inclusief drainage, in hoog en laag Nederland. Waterconserverende maatregelen (opslag van regenwater in aquifers, ASR ten behoeve van drinkwater, NWRM) en reservering van strategische grondwatervoorraden en beheer van terrestrische en aquatische ecosystemen leiden over het algemeen tot vergroting van de grondwatervoorraad en daarmee tot een positieve invloed op ESD8.

Onttrekkingen hebben een direct verlagend effect op de grondwaterstand en grondwaterstijghoogte en verminderen daarmee de toestroming van grondwater naar sloten, beken en rivieren.

In laag Nederland vindt peilbeheer voor de agrarische functie zo grootschalig plaats, dat het peilbeheer zelf ook sterk bepalend is voor de grondwaterstroming over grote gebieden. Het peilbeheer houdt kwelsituaties in stand waar het watersysteem dus voorziet in watervoerendheid van het sloten en kanalenstelsels. De lage waterpeilen voor de ontwatering van de landbouw leiden daarnaast vaak tot verdroging door afname van grondwaterstroming naar nabijgelegen natte natuurgebieden. Aanvoer van nutriëntenrijk boezem- of rivierwater is nodig om de wegzijging naar omringend agrarisch gebied te compenseren.
In hoog Nederland zorgen zowel peilbeheer in agrarisch gebied als grondwateronttrekkingen voor te lage grondwaterstanden en stijghoogten in en onder de kwelafhankelijke beeksystemen. Mede daardoor kunnen kwelstromen verstoord raken omdat basenrijke kwel de natuurgebieden niet meer kan bereiken. Afdichting in inzijggebieden belemmert daarnaast de aanvulling van grondwater ernstig. Dit kan ook verminderde toestroom van kwelwater veroorzaken.
Aquatische natuurgebieden hebben ook te kampen met problemen van vermesting (eutrofiëring). Dit kan deels samenhangen met de aanvoer van gebiedsvreemd nutriëntenrijk water, maar ook met af- en uitspoeling van meststoffen uit naastgelegen agrarisch gebied.

3.2 Maatregelen om de ESD te optimaliseren

Met hogere waterpeilen in het agrarisch gebied kan wegzijging vanuit de natuurgebieden in laag Nederland beperkt worden, maar hogere waterpeilen zijn niet optimaal voor de agrarische functie. Uit experimenten met flexibel peilbeheer, waarbij waterpeilen natuurlijker mogen fluctueren door neerslag en verdamping tussen een boven- en benedengrens, blijkt dat water beter wordt vastgehouden en minder aanvoer van water nodig is (Borren e.a., 2012) dan in de situatie zonder flexibel peil. De landbouw kan echter hinder ondervinden van flexibel peilbeheer, omdat het natte land na de winter weinig draagkracht heeft. Effecten van flexibele peilen op de kwaliteit van het oppervlaktewater zijn niet eenduidig, dit hangt sterk af van het niveau van de peilgrenzen en de lokale situatie. (STOWA, 2012-41). Deze problematiek vraagt om een duidelijke afweging tussen landbouw en natte natuur die verder strekt dan het natuurgebied alleen.
In de Atlas Natuurlijk Kapitaal en in de factsheet over ESD 5 (bergingscapaciteit) zijn diverse maatregelen beschreven die kunnen zorgen voor een toename van de grondwatervoorraad (hogere grondwaterstanden) om de voorziening van watervoerendheid en waterkwaliteit van het oppervlaktewater te vergroten. Omdat lang niet altijd bekend is hoe voor een specifiek gebied bepalende kwelstromen lopen, is het moeilijk om afwegingen te maken voor activiteiten die deze

stromen kunnen beïnvloeden. In het algemeen geldt dat een combinatie van locatiespecifiek (veld-) onderzoek en modelonderzoek nodig is om afwegingen verantwoord te kunnen maken.
Uit analyses, uitgevoerd in droge landbouwgebieden (Van der Grift e.a., 2011), bleek dat het grootste deel van de stikstofvracht naar het oppervlaktewater uit het bovenste grondwater komt. Sturen op stikstofbemesting in droge landbouwgebieden is daarom het meest effectief om de stikstofbelasting vanuit de bodem naar het oppervlaktewater te verminderen. Maatregelen om de fosforbelasting tegen te gaan moeten juist worden gezocht in vermindering van de mestgift in combinatie met het tegengaan van oppervlakkige maaiveldafvoer, omdat het grootste deel van de fosfor uit de bouwvoor komt.

3.3 Toekomstige trends die invloed hebben op de ESD

Een relevante ontwikkeling is dat er een tendens is om beregening voor landbouwgewassen uit grondwater meer vrij te geven omdat er, mede door klimaatveranderingen, de verwachting heerst dat er in de toekomst minder oppervlaktewater ter beschikking zal zijn. Een toename van beregening uit grondwater in droge perioden moet zeker worden afgewogen tegen de nadelige invloed op watervoerendheid van beken en rivieren, zowel vanuit oogpunt van scheepvaart als vanuit de KRW-opgaven. Recent speelt deze discussie op bestuurlijk niveau in Noord-Brabant (Stuurman e.a. 2013) en blijkt dat de invloed van beregening op natuurgebieden nog niet zo eenvoudig is vast te stellen.
Een andere ontwikkeling is de langzame toename van gedraineerd gebied in Nederland, o.a. door het optimaliseren van landbouwproductie en door het telen van gewassen die steeds hogere eisen aan waterbeschikbaarheid en grondwaterstand stellen. Toename van het gedraineerde areaal zal leiden tot verdere daling van grondwaterstanden en uitputting van ESD8.
Een vrij nieuwe ontwikkeling is de opkomst van regelbare drainage. Hiermee kunnen agrariërs meer invloed uitoefenen op het drainageniveau in het eigen perceel. In combinatie met verhoging van beekbodems en/of waterpeilen kan dit tot een stijging van grondwaterstanden leiden. De negatieve effecten van hogere grondwaterstanden in landbouwpercelen (door peil- of bodemverhoging) kunnen met ondiepe drainage lokaal worden beperkt.
Klimaatverandering en het daarop inspelende Deltaprogramma Zoetwatervoorziening leiden ertoe dat regio’s meer zelfvoorzienendheid gaan nastreven voor de zoetwaterbeschikbaarheid. Dit is aanleiding om de activiteiten die deze ESD beïnvloeden nader te beschouwen, en afwegingen te maken in het gebruik van het beschikbare grond- en oppervlaktewater.

4 Beschikbare data over ESD

In de Atlas Natuurlijk Kapitaal (ANK), (http://www.atlasnatuurlijkkapitaal.nl/) zijn twee indicatoren opgenomen die voor deze ESD relevant zijn:

- 'Ligging van waterafhankelijke natuurgebieden in relatie tot grondwaterafhankelijkheid en oppervlaktewater beschikbaarheid (verdringingsreeks)'. Deze kaart geeft inzicht in de ligging van waterafhankelijke natuurgebieden. Verdroging, verontreiniging en verzuring van waterafhankelijke natuurgebieden illustreert de noodzaak tot het afwegen van belangen tussen verschillende ecosysteemdiensten. De verdringingsreeks maakt deze afweging voor verdeling van het oppervlaktewater (rijkswater). In veel gebieden kan het rijkswater echter niet komen. Natuur in deze gebieden is afhankelijk van neerslag en/of grondwater. In deze gebieden (categorie 4 en overige natuur op de kaart) is het van belang beleid te ontwikkelen dat voorziet in een gedegen afweging, met het oog op de verschillende ecosysteemdiensten.
- 'Natuurwaarden kaart van natte en vochtige ecosystemen'. Deze kaart toont de natuurwaarde van natte en vochtige ecosystemen in Nederland. De kaart is gebaseerd op waargenomen plantensoorten (per km2) uit de database van Stichting Floron (Florbase-2N), gecombineerd met een natuurwaarde berekening met het model DEMNAT (Deltares) op basis van de mate van ontwikkeling. Gebieden met een hoge natuurwaarde zijn afhankelijk van de beschikbaarheid van water van een goede kwaliteit om de ontwikkeling zeldzame soorten mogelijk te maken. Deze kaart is daarmee een indicatie van gebieden waar water van goede kwaliteit beschikbaar is voor aquatische en terrestrische natuur.

In het artikel "Groundwater impact on environmental flow needs of streams in sandy catchments in The Netherlands" beschrijven Hendriks, Kuijper en van Ek (2014) de bijdrage van grondwater aan de watervoerendheid van beken, op basis van onderzoek in twee gebiedstudies in Oost- en Zuid-Nederland.
Data over watervoerendheid en waterkwaliteit van sloten, kreken en beken is niet opgeslagen in een centrale database. Deze gegevens worden veelal door waterschappen verzameld en in eigen beheer opgeslagen.
Actuele gegevens van gemeten (en verwachte) afvoer, stroomsnelheid en waterstanden in de grote rivieren in Nederland stelt Rijkswaterstaat beschikbaar via internet :
http://www.rijkswaterstaat.nl/geotool/geotool_afvoer_stroomsnelheid.aspx

Opstellers:
Marijn Kuijper (Deltares, Hoofdauteur en contactpersoon)
Wilko Verweij (RIVM)

Referenties

- Bakel, J. van, P. de Louw, H. Massop, L. Stuyt, L. Tolk, J. Velstra, M. Hoogvliet en M. Mikkels (2014) Fresh Water Options Optimizer. Stowa rapportnummer 2014-16, KvK rapportnummer KvK118/2014 concept.
- Borren, W., J. Rozemeijer, J. Klein, D. Hendriks en G. van Wirdum (2012) Flexpeil Hydrologie deelrapport A, Systeemanalyse en monitoringsopzet. Deltares-rapport 1202707-001-BGS-0003 / bijlage bij STOWA rapport 2012-41, Utrecht.
- Broers, H.P. en J. Lijzen (2013) Afwegingen bij het gebruik van grondwater en de ondergrond. Een verkenning op basis van ecosysteemdiensten. Deltares en RIVM, Deltares-rapportnummer 1207762-016 / RIVM-rapportnummer 607710003/2014, Utrecht.
- Grift, B. van der, J. Klein, N. de Boorder en J.C. Rozemeijer (2011) Grondwater bijdrage aan oppervlaktewaterkwaliteit in de Drentse Aa en Schuitenbeek. Deltares-rapport 1202790-000-BGS-0009, reeks monitoringstroomgebieden 24, Utrecht.
- Knotters, M. en P. Jansen (2005) Honderd jaar verdroging in kaart; Stromingen jrg. 11, nr. 4.
- Kuijper M., S. Hommes and H.P. Broers (2013a) Grondwater als buffer om droogte te voorkomen. Land+Water 1:26-27.
- Kuijper, M., H.P. Broers en J.C. Rozemeijer (2013b). Effecten van peilgestuurde drainage op Natuur. Deltares rapport 1206925.
- Runhaar, J., Jalink, M.H., H. Hunneman en J.P.M. Witte, Hennekens, S.M., 2009: Ecologische Vereisten Habitattypen. Rapport KWR 09.018
- Stuurman, R., A.A. Freriks and H.P. Broers (2013) Second Opinion rapport Grondwaterberegening en Natura 2000. Deltares rapport 1207553.
- Woestenburg , M. en D. van Tol-Leenders (2011) Sturen op schoon water. Eindrapportage project Monitoring Stroomgebieden. Boek Alterra/ Deltares.
- Worm, B., M.J.M. Kuijper, R.J.J. van Dongen en D.M.D. Hendriks (2012) Sturen op basisafvoer: wat te doen aan droogte en lage beekafvoeren? In: H2O nr. 22, 2012.

Bijlage 9

Ecosysteemdienst 9: Voeding van grondwaterafhankelijke natuur

Inhoud

1. Beschrijving van de Ecosysteemdienst — 138
1.1. Korte definitie — 138
1.2. Beschrijving van het systeem — 138

2. Gebruik van de Ecosysteemdienst — 142

3. Relaties tussen de Ecosysteemdienst, activiteiten en maatregelen — 144
3.1. Hoe wordt de Ecosysteemdienst beïnvloed? — 144
3.2. Maatregelen om de ESD te optimaliseren — 146
3.3. Toekomstige trends die invloed hebben op de ESD — 147

4. Beschikbare data over ESD — 148

Belangrijkste conclusies en aanbevelingen:

Toevoer van voldoende schoon grondwater naar gebieden waar natuur aanwezig is of kan worden ontwikkeld is essentieel voor het behouden en ontwikkelen van grondwaterafhankelijke (semi-)natuurlijke ecosystemen. De regulerende ESD *Voeding van grondwaterafhankelijke natuur* is sterk afhankelijk van het beheer en de inrichting van natte natuurgebieden, inclusief hun directe omgeving. Met name kwelgebieden op en langs de hogere zandgronden herbergen hoge natuurwaarden. Hier is vaak sprake van een hoge soortenrijkdom, met een groot aandeel aan zeldzame soorten.

Menselijk ingrijpen in het watersysteem heeft de voeding van grondwaterafhankelijke natuur sterk aangetast. Het gaat hier om versterkte ontwatering en afwatering, grondwateronttrekkingen, vermindering van de grondwatervoeding door aanpassingen in het landgebruik, en om grondwatervervuilende activiteiten. De verhoogde aantasting maakt grondwaterafhankelijke natuur extra kwetsbaar voor klimaatverandering. Dit is vooral het geval bij het Wh-scenario (KNMI, 2014) waarbij de wereldwijde temperatuur in sterke mate stijgt ('Warm') met een sterke verandering van het luchtstromingspatroon ('Hoge waarde'). Aanbevolen wordt om versneld maatregelen te treffen om structurele verdroging in de grondwaterafhankelijke natuurgebieden op te heffen. Hiervoor zijn meestal maatregelen nodig buiten de natuurgebieden zelf, zoals het optimaliseren van het landgebruik en de inrichting van infiltratiegebieden die samenhangen met nabij gelegen kwelafhankelijke natuurgebieden, het verhogen van de regionale ontwateringsbasis en het verminderen van grondwateronttrekkingen.

1 Beschrijving van de Ecosysteemdienst

1.1 Korte definitie

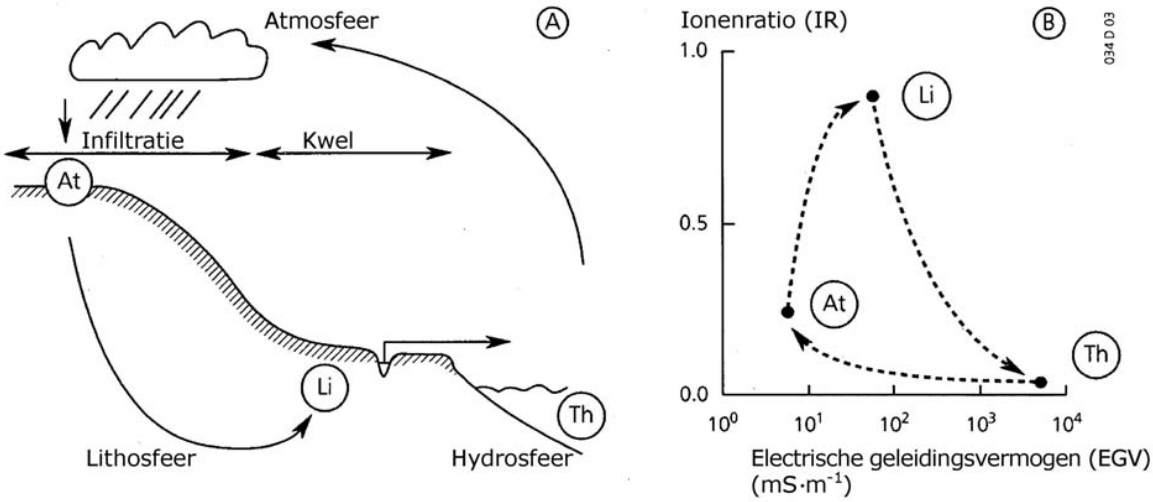
Voeding van grondwaterafhankelijke natuur is te definiëren als de toestroom van voldoende grondwater van goede kwaliteit, op het juiste moment zodat daarvan afhankelijke (semi-)natuurlijke ecosystemen normaal kunnen functioneren. Die afhankelijkheid vertaalt zich naar grondwaterregime in termen van kwantiteit (grondwaterstanden, fluxen) en kwaliteit (type water). In hoog Nederland gaat het vooral om natuur in beekdalen en kwel gevoede depressies op en langs de hogere zandgronden. In de duinstreek om natte duinvalleien die toestromend grondwater ontvangen. In laag Nederland gaat het om kwel gevoede laagveengebieden (meestal nabij de hogere zandgronden) en sommige plassen en meren. Het grondwatersysteem is hier van belang als regulerende ecosysteemdienst die zorgt voor een stabiel milieu waar natte en vochtige terrestrische en aquatische ecosystemen van afhankelijk zijn. De ESD *'Voeding van grondwaterafhankelijke natuur'* is, volgens de CICES (2013) indeling[10], een regulerende ecosysteemdienst.

1.2 Beschrijving van het systeem

Ecohydrologische principes
De samenhang tussen het grondwatersysteem en ecosystemen is niet eenduidig. Afhankelijk van het de topografie, moedermateriaal en ligging van een gebied treden bepaalde processen in werking die van invloed zijn op het voorkomen van planten- en diersoorten. Relaties die de interactie tussen (geo)hydrologie, bodem en ecologie beschrijven worden ook wel ecohydrologische relaties genoemd. Vaak ligt de focus op plantensoorten c.q. vegetaties omdat planten minder mobiel zijn en daardoor een goede afspiegeling zijn van de gemiddelde milieucondities (de standplaats[11]) op een bepaalde locatie.

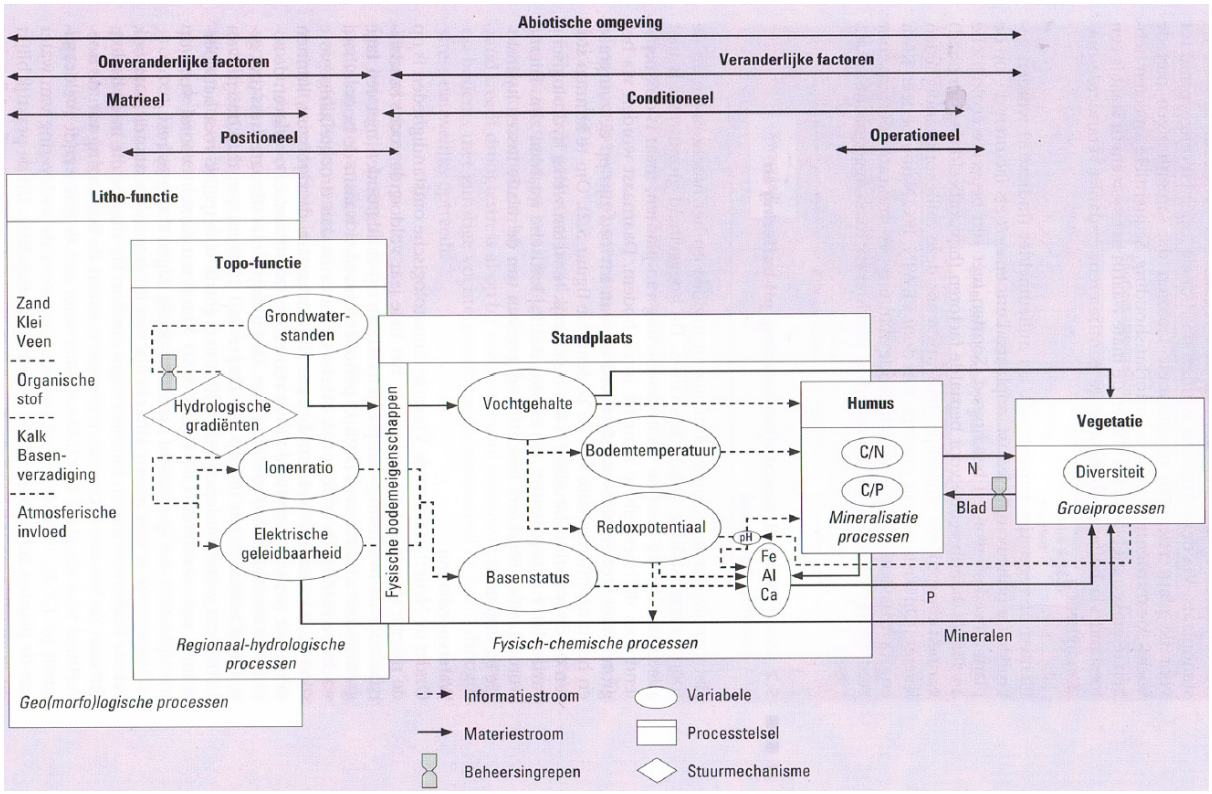
Van Wirdum (1980) is een grondlegger van de ecohydrologie in Nederland die het belang van waterkwaliteit voor de standplaats onderkent. Hij heeft een eenvoudige techniek ontwikkeld om de herkomst van het water af te kunnen leiden. In de hydrologische cyclus is water afkomstig uit de atmosfeer (regenwater of atmoclien water), wat na infiltratie en passage door de ondergrond verandert in gerijpt grondwater (lithoclien water). Grondwater stroomt uiteindelijk af naar de zee waar de samenstelling van het water weer sterk verandert (thallasoclien ofwel zeewaterachtig water). Op basis van enkele eenvoudig meetbare parameters (EC ofwel elektrisch geleidingsvermogen, en IR ofwel de ionen ratio van Ca^{2+} versus Ca^{2+} + Cl^{-}) kan een indruk worden verkregen van het type water waar men mee te maken heeft (Fig. 1). In de praktijk treedt vaak menging op van meerdere watertypen.

[10] CICES V4.3 (http://cices.eu/). De ESD 'Voeding van grondwaterafhankelijke natuur' valt onder de Divisie: Mediation of flows.
[11] de directe omgeving van een plant waarbinnen min of meer homogene groeiomstandigheden worden aangetroffen.



Figuur 1: De hydrologische cyclus (a) en de Van Wirdum diagram (b) met de verschillende watertypen. At = atmoclien ofwel regenwater, Li = lithoclien ofwel gerijpt grondwater, en Th = thalassoclien ofwel zeewater.

Rolf Kemmers heeft het standplaatsconcept verder uitgewerkt (Kemmers, 1993). Hij gaat uit van een hiërarchisch stelsel van abiotische onveranderlijke- en veranderlijke factoren die interacteren met de vegetatie (Fig. 2). Abiotische onveranderlijke factoren zijn bijvoorbeeld moedermateriaal en topografie. Veranderlijke factoren zijn fysisch-chemische processen in de bodem die samen kunnen hangen met de vegetatie-ontwikkeling. Dergelijke factoren zijn uiteindelijk bepalend voor het optreden van conditionerende (ofwel indirecte) standplaatsfactoren. Conditionerende standplaatsfactoren zijn kenmerken van het bodem- en grondwatersysteem die conditionerend werken op operationele standplaatsfactoren, factoren die direct van invloed zijn op de plantengroei. Zo wordt bijvoorbeeld de vochtvoorziening voor een plant bepaald door de conditionerende factoren grondwaterstand, textuur en organisch-stofgehalte. Voorbeelden van operationele standplaatsfactoren zijn vochttoestand, voedselrijkdom, zuurgraad en saliniteit. Het voorkomen van plantensoorten in relatie tot milieucondities wordt veelal gelegd op het niveau van operationele standplaatsfactoren. De vegetatie zelf is ook van invloed op standplaatsomstandigheden via bijvoorbeeld schaduwing en bladval. Kennis over de invloed van terugkoppelingen tussen vegetatie (biotiek), bodem en hydrologie (abiotiek) en wat dit betekent voor de standplaats is nog beperkt.



Figuur 2: Conceptuele weergave van de standplaats op basis van een hiërarchisch stelsel van abiotische onveranderlijke en veranderlijke factoren en de vegetatie (Kemmers, 1993).

Grondwaterkwantiteit werkt conditionerend voor de watervoorziening en zuurstofvoorziening van de standplaats. Droogtestress kan worden uitgedrukt als het gemiddeld aantal dagen dat op een diepte van 12,5 cm een drukhoogte van 12000 cm wordt overschreden (~pF 4.2 ofwel het verwelkingspunt). In Nederland worden xerofyten (planten aangepast aan droge condities) aangetroffen op standplaatsen met gemiddeld meer dan 30 dagen droogtestress. Vochtstress hangt af van de grondwaterstand, de bodemtextuur en het neerslagoverschot. Een voldoende hoge grondwaterstand kan er voor zorgen dat het vochtgehalte in de wortelzone op peil blijft en niet beneden het verwelkingspunt zakt. Als grondwater het hele bodemprofiel gaat vullen dan neemt het aandeel lucht in de poriën van de bodem af. Dergelijke natte standplaatsen hebben anaerobe condities (gebrek aan zuurstof). Alleen planten die speciaal zijn aangepast (hydrofyten) kunnen dergelijke anaerobe milieus overleven. Onder anaerobe condities treedt reductie op waarbij toxische verbindingen kunnen ontstaan zoals waterstofsulfide en tweewaardig ijzer.

Grondwaterkwaliteit werkt vooral conditionerend voor zuurgraad, voedselrijkdom en saliniteit van een standplaats. Regenwater rijk aan koolzuur zal bij infiltratie kalk aanwezig in de bodem oplossen. Hierdoor ontstaat basenrijk grondwater volgens: $CaCO_3 + H_2CO_3 \rightarrow Ca^{2+} + 2HCO_3^-$. Het aanwezige bicarbonaat gedraagt zich als een pH-buffer waardoor de zuurgraad in de wortelzone niet teveel kan toenemen (gebufferde standplaats). In infiltratiegebieden is onder invloed van de zuurgraad

ook vaak sprake van uitspoeling van ijzer dat vervolgens ophoopt in kwelgebieden. Vrij beschikbaar fosfaat bindt goed aan tweewaardig ijzer tot het slecht oplosbare ijzerfosfaat $Fe_3(PO_4)_2$. Hierdoor hebben natte standplaatsen rijk aan tweewaardig ijzer veelal geen last van een hoge voedselrijkdom als gevolg van fosfaat. Wanneer grondwater een mariene herkomst heeft kan onder invloed van kwel een standplaats brak of zout worden.

De grondwaterkwantiteit heeft ook invloed op de zuurgraad, voedselrijkdom en saliniteit. Bij verlaging van de grondwaterstand kan bijvoorbeeld organische stof mineraliseren waardoor voedingsstoffen beschikbaar komen en de voedselrijkdom toeneemt. Als de toevoer van grondwater naar de wortelzone afneemt dan leidt dit tot een toename van het aandeel regenwater in de wortelzone (toename regenwaterlenzen) wat voor planten een verzuring (bij lithocliene kwel) of verzoeting (bij brakke of zoute kwel) van de standplaats betekent.

Kenmerkende ecohydrologische relaties zijn beschreven voor diverse landschapstypen. Binnen een landschapstype is nog een nadere uitsplitsing mogelijk voor specifieke situaties. Uitgebreide beschrijvingen hiervan zijn te vinden in Griffioen et al. (2003) en in Witte et al. (2007). Daarnaast is er veel informatie te vinden op de website www.natuurkennis.nl. De ESD '*Voldoende voeding van grondwaterafhankelijke natuur'* is vooral relevant voor landschapstypen als kustduinen, hogere zandgronden en beekdalen en laagveenmoerassen.

2 Gebruik van de Ecosysteemdienst

Een overzicht van de activiteiten die gebruik maken van de ESD "Voeding van grondwaterafhankelijke natuur" staat weergegeven in tabel 1.

Tabel 1: Relatie tussen de ecosysteemdienst 'Voeding van grondwaterafhankelijke natuur' en de activiteiten.
J = activiteit maakt gebruik van de ecosysteemdienst, N = activiteit maakt geen gebruik van de ecosysteemdienst, ? = onduidelijk of de activiteit gebruik maakt van de ecosysteemdienst

Activiteit	**Specifieke activiteit**	ESD
Onttrekkingen	Drinkwater	N
	Irrigatie uit grondwater	N
	Proceswater	N
	Koelwater	N
	Bouwactiveiten	N
	Beheer, sanering grondwaterverontreinigingen	N
Opslag	Opslag van regenwater voor proceswater	N
	Warmte en koude opslag	N
	Berging van (verontreinigd) sediment of afvalstoffen in zandwinputten	N
	Opslag radio-actief afval	N
	CO_2-opslag	N
	Brijnlozingen	N
	Kunstmatige infiltratie voor drinkwaterproductie (ASR)	N
Reserveringen	Bewaren van biodiversiteit/habitat van de ondergrond	J
	Bewaren van cultuurhistorische en archeologische waarden	N
	Reservering strategische grondwatervoorraden	N
Winning grondstoffen	Grind, zand en klei	N
	Zoutwinning	N
	Schaliegaswinning (incl. gebruik grondwater als proceswater)	N
	Olie- en gaswinning	N
	Geothermie	N
Ruimte beslag	Ondergrondse infrastructuur	N
	in-situ saneringen	N
Peilbeheer	Peilbeheer laag Nederland	N
	Peilbeheer hoog Nederland	N
Bovengrondse activiteiten	Beheer terrestrische/aquatische ecosystemen	J
	Recreatie (sportvisserij, zwemwater, natuurbeleving, thermae2000)	J
	Bodemafdichting	N
	Toepassen van meststoffen en bestrijdingsmiddelen	N
	Diffuse bodembelasting stedelijk gebied	N

De volgende activiteiten maken gebruik van de ESD '*Voeding van grondwaterafhankelijke natuur':*

- Bewaren van biodiversiteit/habitat van de ondergrond
  Het belang van voldoende schoon grondwater aan maaiveld voor de biodiversiteit is evident wanneer we het voorkomen van regionale lithocliene kwelmilieus vergelijken met de biodiversiteit. In deze gebieden vinden we natuur met een hoge biodiversiteit en een hoog aandeel aan zeldzame soorten (Van Ek et al. 2014). De probleemanalyse van verdroging laat zien dat de invloed van (basenrijk) grondwater in de wortelzone is afgenomen, met

negatieve gevolgen voor daaraan gerelateerde natuur. Een strategie gericht op behoud en ontwikkeling van biodiversiteit, waarbij voor een deltagebied als Nederland grondwaterafhankelijke natuur zeer relevant is, dient zich daarom te richten op het verbeteren van de bovenstaande ESD. Over het belang van voeding van grondwaterafhankelijke natuur voor de biodiversiteit van de ondergrond (grondwaterbiologie) is niet veel bekend. Grondwaterafhankelijke natuur is een vorm van landgebruik die afhankelijk is van schoon water, maar ook zelf niet vervuilend is. Dergelijke natuurgebieden hebben over het algemeen een hoge biodiversiteit aan bacteriën en schimmels. Deze variatie in bodemleven is in sterke mate bepalend voor het optimaal functioneren van de biochemische cycli in de bodem en het reinigend vermogen (Rutgers et al. 2007). Grondwaterafhankelijke natuur is daarom ook goed te combineren met drinkwaterwinning. Zo wordt bijvoorbeeld de duinregio, waar het landgebruik hoofdzakelijk bestaat uit natuur, benut door de drinkwatersector voor nazuivering van voorgezuiverd oppervlaktewater. Ook op de hogere zandgronden zien drinkwatermaatschappijen graag natte (schone) natuurgebieden in hun intrekgebieden.

- Beheer terrestrische/aquatische ecosystemen
  Voeding van grondwaterafhankelijke natuur zorgt voor stabiele en gunstige waterhuishoudkundige condities in natuurgebieden. Deze gebieden hebben hierdoor minder last van hoge voedselrijkdom en verruiging. Daarnaast hoeven tal van interne maatregelen niet te worden getroffen om te compenseren voor de nadelige effecten van verdroging. Een goede voeding van grondwaterafhankelijke natuur maakt dat natuurbeheerders eenvoudiger en tegen geringere kosten hun doelen kunnen realiseren.

- Recreatie (sportvisserij, zwemwater, natuurbeleving, thermae2000)
  Robuuste, goed functionerende gebieden met grondwaterafhankelijke natuur dragen bij aan recreatie. Deze vaak landschappelijk aantrekkelijke gebieden herbergen veel planten en diersoorten waardoor er wat te beleven valt voor natuurliefhebbers. Door de gunstige waterkwaliteit zijn dergelijke gebieden aantrekkelijk als zwem- of viswater.

3 Relaties tussen de Ecosysteemdienst, activiteiten en maatregelen

3.1 Hoe wordt de Ecosysteemdienst beïnvloed?

Een overzicht van de beïnvloeding van de ESD *'Voeding van grondwaterafhankelijke natuur'* door verschillende activiteiten staat weergegeven in tabel 2.

Tabel 2: Beïnvloeding van de ecosysteemdienst door de activiteiten in de boven- en ondergrond.
+ = positieve invloed van activiteit op het in stand houden of vergroten van de ESD
- = negatieve invloed van activiteit op ESD (vermindering dienst)
+/- zowel positieve als negatieve invloed mogelijk, afhankelijk van tijdsschaal of invalshoek
O = geen positieve en/of negatieve invloed van de activiteit
?= onbekend
(?) achter een ander teken zoals een +(?) dan is het effect onzeker.

Activiteit	**Specifieke activiteit**	ESD
Onttrekkingen	Drinkwater	-
	Irrigatie uit grondwater	-
	Proceswater	-
	Koelwater	-
	Bouwactiveiten	-
	Onttrekking tbv beheer en saneringen grondwaterverontreinigingen	-
Opslag	Opslag van regenwater voor proceswater	o
	Warmte en koude opslag	o
	Berging van (verontreinigd) sediment of afvalstoffen in zandwinputten	o
	Opslag radio-actief afval	o
	CO2-opslag	o
	Brijnlozingen	o
	Kunstmatige infiltratie voor drinkwaterproductie (ASR)	o
Reserveringen	Bewaren van biodiversiteit/habitat van de ondergrond	o
	Bewaren van cultuurhistorische en archeologische waarden	o
	Reservering strategische grondwatervoorraden	+
Winning grondstoffen	Grind, zand en klei	o
	Bruinkoolwinning Naar Duits voorbeeld	-
	Zoutwinning	o
	Schaliegaswinning (incl. gebruik grondwater als proceswater)	o
	Olie- en gaswinning	o
	Geothermie	o
Ruimtebeslag	Ondergrondse infrastructuur	+/-
	aanpak grondwaterverontreiniging, incl. in-situ saneringen	+/-
Peilbeheer	Peilbeheer laag Nederland	+/-
	Peilbeheer hoog Nederland	+/-
Bovengrondse activiteiten	Beheer terrestrische/aquatische ecosystemen	+
	Recreatie (sportvisserij, natuurbeleving, thermae2000)	o
	Bodemafdichting	-
	Toepassen van meststoffen en bestrijdingsmiddelen	-
	Diffuse bodembelasting stedelijk gebied	-

Activiteiten die positief scoren voor de ESD '*Voeding van grondwaterafhankelijke natuur'* zijn:

- Reservering strategische grondwatervoorraden
- Beheer terrestrische/aquatische ecosystemen

Het reserveren van strategische grondwatervoorraden kan inhouden dat in die gebieden geen grondwateronttrekkingen mogen plaatsvinden. In hoeverre dat positief uitpakt hangt sterk af van de aanwezigheid en ligging van grondwaterafhankelijke natuur ten opzichte van die grondwatervoorraden. Het 'beheer van terrestrische/aquatische ecosystemen' scoort positief omdat verwacht mag worden dat het interne beheer qua waterhuishouding zoveel mogelijk wordt geoptimaliseerd voor het realiseren van waardevolle grondwaterafhankelijke natuur. Het is dan wel van cruciaal belang dat de juiste maatregelen worden getroffen. Zo kan het voorkomen dat de intentie is om natte natuur te realiseren, maar dat men vervolgens overgaat tot het vergroten van een oppervlaktewater wat vervolgens drainerend en daarmee verdrogend werkt op de omgeving.

Activiteiten die negatief scoren voor de ESD '*Voeding van grondwaterafhankelijke natuur'* zijn:

- Alle onttrekkingen
- Bruinkoolwinning naar Duits voorbeeld
- Bovengrondse activiteiten; bodemafdichting, toepassen van meststoffen en bestrijdingsmiddelen en diffuse bodembelasting in stedelijk gebied

De aard van de impact verschilt wel bij onttrekkingen. Grondwateronttrekkingen voor drinkwater hebben vaak een wat groter effect dan andere onttrekkingen. De winning ligt meestal wat dieper, met negatieve gevolgen voor de regionale kweldruk. Als de onttrekking nabij een natuurgebied ligt dan is er een evidente negatieve invloed. Minder duidelijk wordt het als er sprake is van meerdere winningen verderaf gelegen. Afhankelijk van de omvang en ligging kan een diffuus effect optreden dat wel structureel maar niet goed aanwijsbaar is. Deze problematiek geldt waarschijnlijk ook voor grondwateronttrekkingen gerelateerd aan de bruinkoolwinning zoals die nu in Duitsland plaats vindt. Irrigaties voor de landbouw kunnen erg schadelijk zijn omdat ze, naar verwachting, optreden in droge perioden wanneer de natte natuur het al moeilijk heeft. Er wordt dan in korte tijd veel water onttrokken met negatieve gevolgen voor de natuur. Uiteraard heeft het afdichten van de bodem een negatief effect op de grondwateraanvulling en kunnen vervuilingen van het grondwater een sterk negatieve impact hebben. Naast het feit dat het toedienen van mest vaak neerkomt op het verhogen van NO_3^- en SO_4^{2-} concentraties in het grondwater kan NO_3^- ook nog een ander onverwacht effect hebben. Onder anaerobe omstandigheden kan nitraat reduceren tot lachgas (N_2O) dat vervolgens naar de atmosfeer kan ontsnappen. Dit lijkt gunstig omdat zo de voedselrijkdom in het grondwater zo wordt verlaagd. Helaas is er vaak sprake van een overmaat aan nitraat waardoor niet alles kan worden omgezet. In veel bodems is pyriet (FeS_2) aanwezig wat kan reageren met het nitraat. Daarbij oxideert het sulfide tot mobiel sulfaat dat in natuurgebieden terecht kan komen. Het sulfaat is in staat het fosfaat van het ijzer te verdringen waardoor er vrij fosfaat beschikbaar komt (indirecte eutrofiëring). Tevens verdwijnt het sulfaat niet, maar hoopt het zich op in natuurgebieden. Bij vernatting kan dit sulfaat reduceren tot sulfide. Sulfide in hoge concentraties is giftig voor plant en dier en

kan tot sterfte leiden. Het toedienen van mest zorgt ervoor dat water afkomstig uit landbouwgebieden vaak hoge nitraat- en sulfaatgehalten heeft en is een bedreiging voor natuur.

Volgens tabel 2 hebben de onderstaande activiteiten zowel een positieve als negatieve invloed op de ecosysteemdienst.

- Ondergrondse infrastructuur
- Aanpak grondwaterverontreinigingen (incl. in situ saneringen)
- Peilbeheer in laag Nederland
- Peilbeheer in hoog Nederland

Aanleg van ondergrondse infrastructuur kan een invloed hebben op de waterhuishouding en grondwaterstroming van een specifiek gebied. Afhankelijk van de constructie en positionering van de infrastructuur kan sprake zijn van een stuwing in grondwaterstroming, of juist een drainerend effect. Een dergelijke discussie speelde bijvoorbeeld bij een voorgenomen aanleg van een tunnel nabij het Naardermeer. Voor zover bekend zijn de effecten meestal gering. Dit geldt ook voor de aanpak van grondwaterverontreinigingen. Diffuse grondwatervervuiling als gevolg van vermesting zijn landelijk een groter probleem voor natuur dan problematiek gekoppeld aan specifieke grondwatersaneringen (puntverontreinigingen). Peilbeheer in laag en vooral ook hoog Nederland zijn echter zeer significant voor grondwaterafhankelijke natuur. Ontwatering en versnelde afwatering voor de landbouw worden gezien als de voornaamste oorzaak voor de verdroging. De structurele verlaging van de regionale ontwateringsbasis is nog steeds voor veel grondwaterafhankelijke natuurgebieden een groot probleem. In laag Nederland wordt systeemvreemd water ingelaten voor doorspoeling en voor peilbeheer wat negatief kan zijn voor laagveen gebieden (o.a. vanwege interne eutrofiering). In de jaren negentig is er een anti-verdrogingsbeleid gevoerd, maar dit heeft slechts beperkt bijgedragen aan het herstel van grondwaterafhankelijke natuur. Met de nieuwe natuurwet en de EU wetgeving (Natura 2000) blijft er onverminderd een verplichting om water- en milieucondities in natuurgebieden te verbeteren. De noodzaak om hier vaart achter te zetten neemt toe door de toenemende voelbaarheid van klimaatverandering.

Volgens Broers & Lijzen (2014) pakken een groot aantal activiteiten min of meer neutraal uit voor de ESD *'Voeding van grondwaterafhankelijke natuur'.*

3.2 Maatregelen om de ESD te optimaliseren

Voor de ESD '*Voeding van grondwaterafhankelijke natuur'* is van belang dat de grondwateraanvulling in de relevante infiltratiegebieden zo veel mogelijk wordt vergroot. Dat kan door het vasthouden van water (bijvoorbeeld via peilopzet) en ervoor te zorgen dat het water ook kan infiltreren in de ondergrond. Het is daarbij van belang dat het water schoon is. Landgebruik dat leidt tot vervuiling van de intrekgebieden is niet gewenst. Grondwateraanvulling kan ook worden vergroot door het landgebruik aan te passen zodat evapotranspiratieverliezen worden verkleind. In theorie is het ook mogelijk om water actief naar infiltratiegebieden toe te voeren. Het verhogen van het waterpeil in kwelgebieden kan gunstig zijn voor vernatting, maar ongunstig voor de waterkwaliteit in verband met het wegdrukken van de kwel. Het verminderen of opheffen van grondwateronttrekkingen pakt positief uit. Voordat dit soort maatregelen worden getroffen is het eerst van belang

om over betrouwbare informatie te beschikken ten aanzien van de kwel-infiltratie relaties in een gebied.

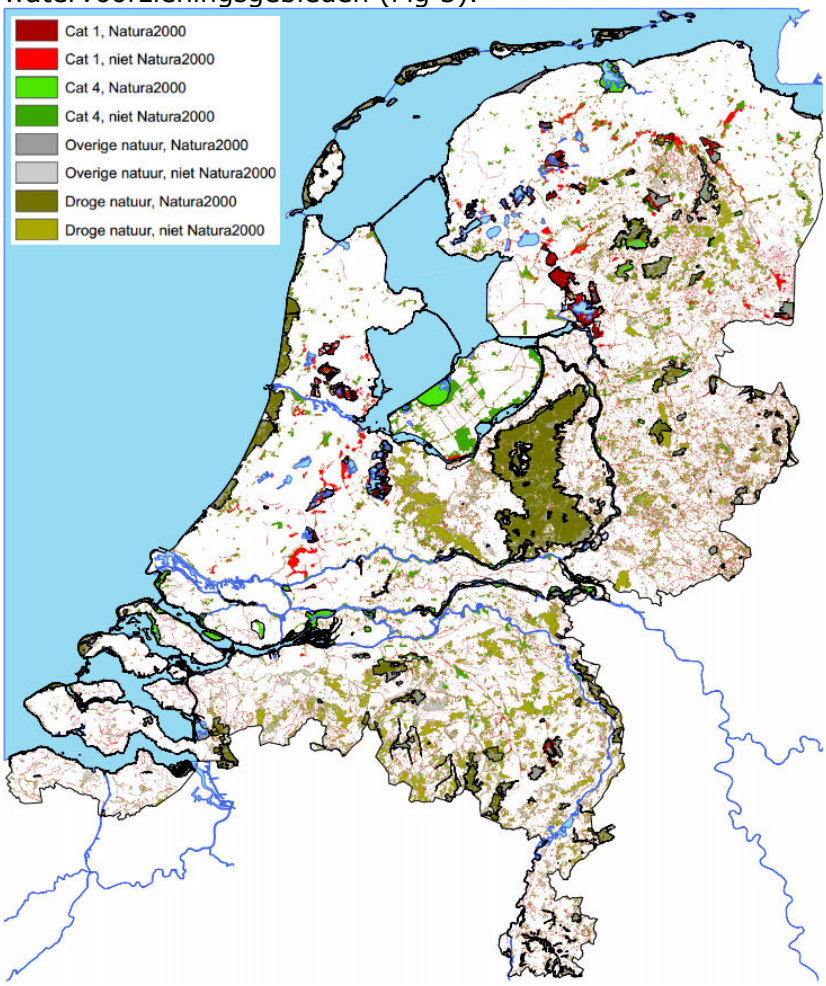
3.3 Toekomstige trends die invloed hebben op de ESD

Voor de toekomst zijn een aantal trends aan te wijzen die doorwerken op de ESD '*Voeding van grondwaterafhankelijke natuur*', te weten klimaatverandering en hoe we hier mee omgaan, toename van het natuurareaal en het mestbeleid.

- *Klimaatverandering en –adaptatie:* De KNMI scenario's 2014 geven vier toekomstprojecties. In algemene zin verwacht men hogere temperaturen, meer zonnestraling, een toename van de potentiele verdamping, meer neerslag (behalve zomerperiode) en een toename in extreme buien. Meer neerslag kan leiden tot meer grondwateraanvulling wat gunstig is voor grondwaterafhankelijke natuur. Daar staat tegenover dat extreme buien en meer verdamping weer negatief kunnen doorwerken op de grondwateraanvulling. Effecten van de meteorologische veranderingen kunnen op verschillende manieren worden bepaald (Witte et al., 2009). Zo worden effecten onder andere doorgerekend met modellen (Van Ek et al., 2012, 2014). De bepaling van oppervlakkige afvoer en verdamping is nog met tal van onzekerheden omgeven. Wel is duidelijk dat de effecten afhangen van de aard van het watersysteem en dat er veel mogelijk is qua adaptatiemaatregelen (Ter Maat et al., 2014). In het kader van het Deltaplan Hoge Zandgronden (ZON/DZH, 2014) wordt ingezet op tal van waterconserveringsmaatregelen om de zelfvoorzienendheid op zoetwaterbeschikbaarheid te vergroten. Natuurbeheerplannen zetten in op verdrogingsbestrijding. Uitvoering van de KRW maatregelen uit de stroomgebiedsbeheersplannen draagt ook bij aan een verbetering van waterkwaliteit en morfologie van beeksystemen. Aanleg van natuurvriendelijke oevers, en het aanwijzen van waterbergingsgebieden kunnen helpen om de waterkwaliteit van het oppervlaktewater te verbeteren. Het ligt voor de hand om de verschillende maatregelen te combineren om grondwater gebonden ecosysteemdiensten te versterken en klimaatadaptatie verder vorm te geven. Hier liggen talloze kansen voor andere sectoren om hun belangen en doelen hieraan te koppelen (financieel en inhoudelijk).
- *Vergroten natuurareaal:* Tussen rijk en provincies zijn afspraken gemaakt voor uitbreiding van het Nationaal natuurnetwerk. Hier liggen kansen om hydrologische relaties in het landschap te herstellen en te versterken. Voor een robuuste inrichting is het wenselijk dat infiltratiegebieden en kwelgebieden in samenhang worden aangewezen, beschermd en verbeterd zodat grondwaterafhankelijke natuur duurzaam kan worden hersteld.
- *Mestbeleid:* De uitstoot van mest is in Nederland nog steeds groot, hoewel positieve effecten van het mestbeleid inmiddels zichtbaar zijn in de metingen. Uitvoering van het mestbeleid is nodig voor het verder verbeteren van het watersysteem. Door de traagheid van het grondwatersysteem zullen we echter geduld moeten hebben met een doorwerking naar grondwater gebonden ecosysteemdiensten.

4 Beschikbare data over de ESD

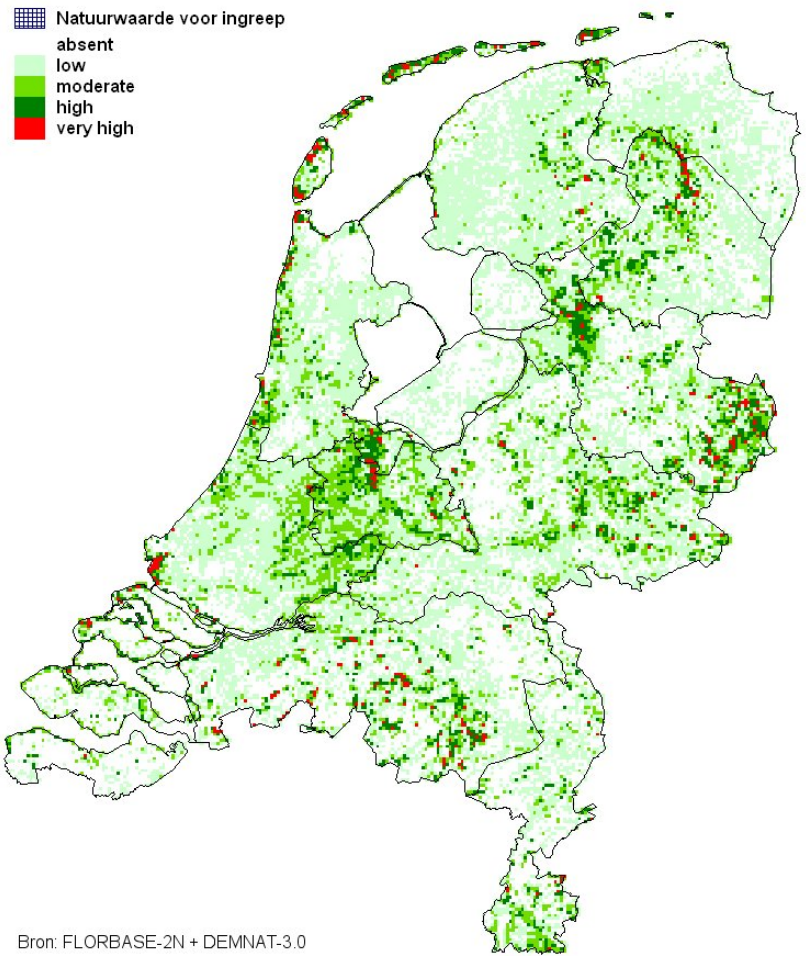
In ANK, Atlas Natuurlijk Kapitaal (http://www.atlasnatuurlijkkapitaal.nl/), zijn de volgende kaarten beschikbaar die inzicht geven in deze ecosysteemdienst. De indicator die gekozen is om "water voor terrestrische natuur" te beschrijven is ten eerste een kaart van natuur in relatie tot de verdringingsreeks. De verdringingsreeks geeft aan welke functies prioriteit krijgen in tijden van schaarste bij toedeling van oppervlaktewater. De kaart geeft de ligging aan van natuur ingedeeld naar categorieën van de verdringingsreeks op basis van SNL kaart, bodemkaart, Natura2000gebieden en watervoorzieningsgebieden (Fig 3).



Figuur 3: Natuur volgens de verdringingsreeks.

Daarnaast is een Natuurwaarden kaart beschikbaar van natte en vochtige ecosystemen afgeleid uit waarnemingen van onze wilde flora. Zo beheert Stichting FLORON het landelijke florabestand FLORBASE waarin het voorkomen van wilde plantensoorten is opgenomen per vierkante kilometer voor de periode 1975 tot heden. Door Witte & Van der Meijden (2000) zijn hieruit kaarten afgeleid die het voorkomen van bepaalde ecologische groepen weergeeft (bijvoorbeeld plantensoorten kenmerkend voor natte en vochtige milieus). Gecombineerd met een natuurwaarderingsmethode volgens Witte (1996) waarbij een weging is

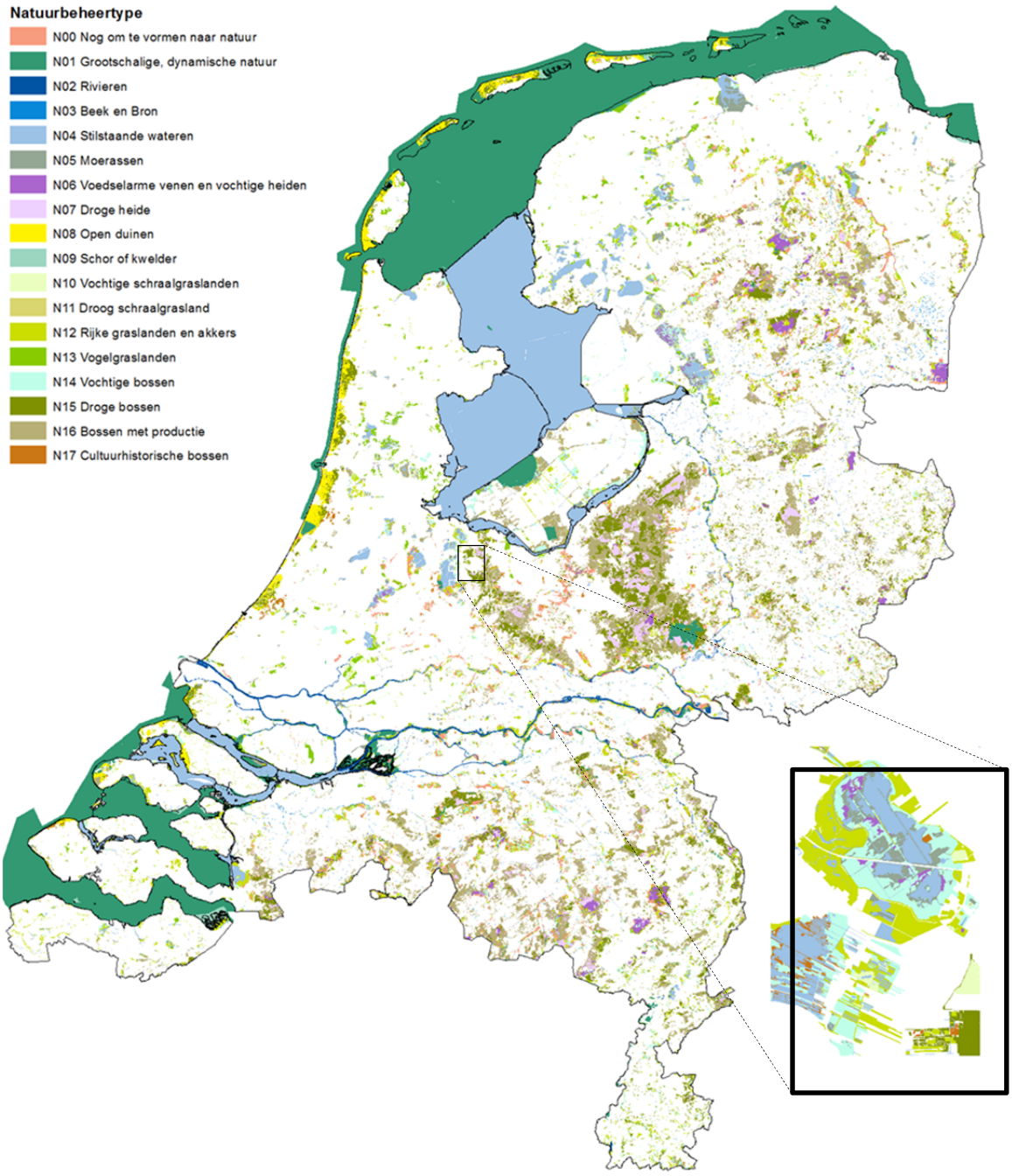
meegenomen naar mate van zeldzaamheid en botanische compleetheid is hieruit een vlakdekkende natuurwaardekaart van natte en vochtige ecosystemen af te leiden. Deze kaart geeft een beeld van de kwaliteit en aanwezigheid van grondwaterafhankelijke natuur (Fig. 4).



Figuur 4: Natuurwaarden per vierkante kilometer van natte en vochtige ecosystemen afgeleid van FLORBASE-2N.

Fig. 4 laat zien dat met name hoge natuurwaarden voorkomen in het beekdal van de Drentsche Aa, in de regio Twente, in het veengebied van NW Overijssel, in het Oostelijk Vechtplassengebied, verspreide gebieden in Noord-Brabant, het duingebied Voorne-Putten en de Waddeneilanden. Naast deze kaart is er een gedetailleerde kaart beschikbaar waarin de ligging van verschillende typen natuurgebieden is weergegeven (Fig. 5) conform de indeling volgens het Subsidiestelsel Natuur en Landschap (SNL)[12].

[12] http://www.portaalnatuurenlandschap.nl/themas/subsidiestelsel-natuur-en-landschapsbeheer/overzicht/



Figuur 5: SNL2013 kaart, met de natuur- en landschapstypen natuur (n=17). Rechts een detail van de kaart waarbij is ingezoomd op het Naardermeer.

De SNL2013 kaart bevat 17 landschaps- en natuurtypen en 49 beheertypen natuur (waarvan twee geclassificeerd als 'nog om te vormen natuur'). In tabel 3 is aangegeven wat de arealen zijn van beheertype natuur welke zijn geclassificeerd als grondwaterafhankelijk (Van Ek et al., 2014). Het totale areaal aan landnatuur bedraagt volgens de SNL kaart 2013 685.396 hectare waarvan 183.372 hectare (27%) als grondwaterafhankelijk kan worden beschouwd.

Tabel 3. Areaal aan grondwaterafhankelijke natuur uitgesplist naar SNL beheertype natuur.

N-type	Omschrijving	ha	N-type	Omschrijving	ha
N01.02	Duin- en kwelderlandschap	12174	N08.03	Vochtige duinvallei	2217
N01.03	Rivier- en moeraslandschap	17948	N10.01	Nat schraalland	3307
N03.01	Beek en bron	4805	N10.02	Vochtig hooiland	13519
N05.01	Moeras	18091	N13.01	Vochtig weidevogelgrasland	20595
N05.02	Gemaaid rietland	3168	N14.01	Rivier- en beekbegeleidend bos	6655
N06.01	Veenmosrietland en moerasheide	2337	N14.02	Hoog- en laagveenbos	10638
N06.02	Trilveen	388	N14.03	Haagbeuken- en essenbos	17984
N06.03	Hoogveen	3746	N16.02	Vochtig bos met productie	25604
N06.04	Vochtige heide	13548	N17.01	Vochtig hakhout en middenbos	2091
N06.05	Zwakgebufferd ven	1158	N17.03	Park- en stinzenbos	3399

Ooit is er een landelijke kaart met hydrologische beïnvloedingsgebieden opgesteld voor EHS gebieden op basis van relaties tussen kwel en infiltratie. Een actualisering van een dergelijke kaart is zinvol indien men beter zicht wil krijgen op de ruimtelijke reservering nodig op landelijk niveau om grondwaterafhankelijke natuurgebieden structureel te kunnen verbeteren en beschermen.

Opsteller:
Remco van Ek (Deltares, hoofdauteur en contactpersoon)
Wilko Verweij (RIVM)

Referenties

- Van Ek, R. (ed.), G. Janssen, M. Kuijper, A. Veldhuizen, W. Wamelink, J. Mol, A. Groot, P. Schipper, J. Kroes, I. Supit, E. Simmelink, F. van Geer, P. Janssen, J. van der Sluijs & J. Bessembinder, 2012. *NMDC-Innovatieproject van Kritische zone tot Kritische Onzekerheden: case studie Baakse beek*, NMDC rapport 1205952, dec 2012. (Dutch report).

- Van Ek, R., J.P.M Witte, J.P. Mol-Dijkstra, W. de Vries, G.W.W. Wamelink, J. Huinink, W. van der Linden, J. Runhaar, L. Bonten, R.P. Bartholomeus, H.M. Mulder & Y. Fujita (2014). *Ontwikkeling van een gemeenschappelijke effect module voor terrestrische natuur*. STOWA report 2014-22, Amersfoort, ISBN 978.90.5773.658.2

- Griffioen, J., J. Notenboom, G. Schraa, R.J. Stuurman, J. Runhaar, G van Wirdum, 2003. *Systeemgericht grondwaterbeheer: de natuurwetenschappelijke werking van grondwatersystemen in relatie tot ecosystemen en grondwaterbeheer*. ISBN 90 207 3293 5.

- Kemmers, R.H. (1993). *Staalkaarten voor een ecologische landevaluatie*. Landschap 10/1: 5-10.

- Rutgers, M., Mulder, C., Schouten A.J., Bloem J., Bogte J.J., Breure A.M., Brussaard L., de Goede R.G.M., Faber J.H., Jagers op Akkerhuis G.A.J.M., Keidel H., Korthals G.W., Smeding F.W., ten Berg C., van Eekeren N. (2007). *Typeringen van bodemecosystemen in Nederland met tien referenties voor biologische bodemkwaliteit.* RIVM Rapport 607604008, Bilthoven.

- KNMI (2014). *KNMI'14-klimaatscenario's voor Nederland; Leidraad voor professionals in klimaatadaptatie*, KNMI, De Bilt, 34 pp

- Ter Maat, J., M.Haasnoot, J. Hunink, M.van der Vat (eds), P. Boderie, R. van Ek, M. Maarse, G. Prinsen, R. van der Sligte, E. van Velzen, H. Verheij, I. de Vries, M.Visser & C. Wesselius (2014). *Effecten van maatregelen voor de zoetwatervoorziening in Nederland in de 21e eeuw; Deltaprogramma - Deelprogramma Zoetwater - Fase 4,* Deltares rapport 1209141-001, Delft/Utrecht

- Witte, J.P.M. & Van der Meijden (2000). *Mapping ecosystem types by means of ecological species groups*, Ecological Engineering 16: 143--152.

- Witte, J.P.M. (1996). *De waarde van de natuur: zeldzaamheid en de botanische waardering van gebieden*. Landschap 96(2):79-95

- Witte, J.P.M., C.J.S. Aggenbach & J. Runhaar (2007). Grondwater voor Natuur. In: R. Lieste, J.P.M. Witte, A.C.M. de Nijs, C.J.S. Aggenbach, B.J. Pieters, J. Runhaar & W. Verweij, *Beoordeling van de grondwatertoestand op basis van de Kaderrichtlijn Water*, RIVM rapport 607300003/2007, Bilthoven.

- Witte, J.P.M., J. Runhaar, R. van Ek, D.C.J. van der Hoek, R.P. Bartholomeus, O. Batelaan, P.M. van Bodegom, M.J. Wassen & S.E.A.T.M. van der Zee, 2012. *An ecohydrological sketch of climate change impacts on water and natural ecosystems for the Netherlands: bridging the gap between science and society*. Hydrol. Earth Syst. Sci. 11: 3945-3957.

- Witte, J.P.M. , J. Runhaar & R. van Ek (2009). *Ecohydrologische effecten van klimaatverandering op de vegetatie van Nederland.* KWR 2009.032. Nieuwegein.

- Van Wirdum, G., (1980). *Eenvoudige beschrijving van de waterkwaliteitsverandering gedurende de hydrologische kringloop ten behoeve van de natuurbescherming*. CHO-TNO rapporten en nota's 5: 118-143. Den Haag.

- ZON/DHZ, (2014). *Zoetwatervoorziening Hoge Zandgronden: op weg naar een strategie en uitvoeringsprogramma voor de regio's oost en zuid: sparen aanvoeren, accepteren/adapteren.* Concept versie 0.6, 90% versie, 14 feb 2014.

Bijlage 10

Ecosysteemdienst 10 – Cultuurhistorische waarden en belevingswaarde

Inhoud

1. Beschrijving van de Ecosysteemdienst — 155
1.1. Korte definitie — 155
1.2. Beschrijving van het systeem — 155

2. Gebruik van de Ecosysteemdienst — 158

3. Relaties tussen de Ecosysteemdienst, activiteiten en maatregelen — 160
3.1. Hoe wordt de Ecosysteemdienst beïnvloed? — 160
3.2. Maatregelen om de ESD te optimaliseren — 161
3.3. Toekomstige trends die invloed hebben op de ESD — 161

4. Beschikbare data over ESD — 162

Belangrijkste conclusies en aanbevelingen:

'Cultuurhistorische waarden en belevingswaarde' gaat over de betekenis van de ondergrond vanuit cultuurhistorisch perspectief en voor de wijze waarop de mens positieve en negatieve sentimenten ondergaat door diens relatie met grondwater en de ondergrond. Inzicht in deze ecosysteemdienst is belangrijk, omdat een grote groep Nederlanders er een belang bij heeft. Het is een typische culturele dienst.

Voor cultuurhistorische waarden en belevingswaarde bestaan verschillende doelgroepen, enerzijds deskundigen en 'geïnteresseerden', anderzijds de burger. Voor cultuurhistorische waarden is de aanwezigheid van geologisch of hydrologisch interessante objecten of verschijnselen in de ondergrond (al dan niet door de mens gemaakt) de belangrijkste factor. Voor zowel cultuurhistorische waarden als voor beleving is informatievoorziening en educatie van groot belang voor het vergroten van de waarde.

1 Beschrijving van de Ecosysteemdienst

1.1 Korte definitie

Onder cultuurhistorische waarden en belevingswaarde wordt hier verstaan: de betekenis van de ondergrond vanuit cultuurhistorisch perspectief en voor de wijze waarop de mens positieve en negatieve sentimenten ondergaat door diens relatie met grondwater en de ondergrond. Met 'cultuurhistorische waarden' wordt gedoeld op de betekenis voor het behouden van kennis, voorwerpen en structuren, betreffende menselijke activiteiten en tradities uit het verleden. Met 'belevingswaarde' wordt gedoeld op de relatie die de burger heeft met grondwater en de ondergrond en de gevoelens die hij of zij hierbij heeft. Met 'positieve en negatieve sentimenten' wordt gedoeld de wijze waarop de mens de ondergrond ervaart.

1.2 Beschrijving van het systeem

'Cultuurhistorische waarden en belevingswaarde' is een typische culturele dienst. In TCB (2014) worden culturele diensten omschreven als 'de immateriële geneugten die mensen putten uit ecosystemen door geestelijke verrijking, cognitieve ontwikkeling, recreatie en esthetische beleving, waaronder bijvoorbeeld kennissystemen, sociale betrekkingen en esthetische waarden'. Voor cultuurhistorische waarden en belevingswaarde bestaan verschillende doelgroepen. Voor cultuurhistorische waarden bestaat de doelgroep voornamelijk uit deskundigen en 'geïnteresseerden'. In indirecte zin wordt cultureel erfgoed en de daarbij behorende culturele waarden vanuit een educatief oogpunt tevens als een belang voor de gehele gemeenschap beschouwd. De cultuurhistorische waarden van het grondwater kunnen ook als onderdeel worden gezien van de door de mens geregelde waterhuishouding in grote delen van Nederland.
De belevingswaarde voor de ondergrond is vanuit het perspectief van 'geestelijke verrijking, cognitieve ontwikkeling, recreatie en esthetische beleving, waaronder bijvoorbeeld kennissystemen, sociale betrekkingen en esthetische waarden' voor iedereen ('de burger') van direct belang. Voorbeelden die in TCB (2014) worden genoemd zijn: de belevingswaarde van bronwater en de schoonheidsbeleving van kwellend grondwater (sprengen). Grondwater en de ondergrond kunnen worden beschouwd als een relatief onaangetast deel van de aarde, alhoewel veel minder zichtbaar als bijvoorbeeld grote wateroppervlakten (de zee, meren).

De bovenste meters van de ondergrond zijn druk bezet met ondergrondse infrastructuur (kabels en leidingen). Bovendien wordt er in het volle Nederland steeds vaker gebruik gemaakt van de ondergrond voor de bouw van kelders, parkeergarages, warmte- en koudeopslag. De belevingswaarde van het grondwater en de ondergrond als 'natuurlijke omgeving' verschilt sterk van persoon tot persoon en is afhankelijk op wat voor een diepteschaal een mens denkt. Milieuvervuiling, met name verontreinigd grondwater, dreigt grondwater en de ondergrond aan te tasten. Momenteel draagt onder meer de schaliegas-discussie en CO2-opslag bij aan de beeldvorming van ondergrond en grondwater. De milieubewuste burger ziet dit, vanuit een positief gevoel bij grondwater

en de ondergrond, als een bedreiging voor de duurzame samenleving. Mensen verzetten zich tegen deze dreigende aantasting van de ondergrond en het grondwater, waaruit blijkt dat mensen er een positieve beleving bij hebben. Vanuit het perspectief van milieuvervuiling geldt ook het omgekeerde. Mensen kunnen zich bewust zijn van het feit dat verontreinigd grondwater drinkwaterbronnen bedreigd en via uitdamping tot gezondheidsproblemen kan leiden in woningen. In extreme gevallen kan de mens zich dermate bewust worden van verontreiniging van de ondergrond dat de positieve beleving doorslaat in een negatieve beleving. Dit is echter veel eerder het geval van zichtbare aantasting van het milieu en dat is voor het grondwater en de ondergrond niet het geval.

Hierna wordt een overzicht gegeven van processen en factoren die de cultuurhistorische waarden en belevingswaarde beïnvloeden (tussen haakjes wordt aangegeven of het om cultuurhistorische waarden of belevingswaarde gaat).

1. De *aanwezigheid van cultuurhistorisch, geologisch of hydrologisch interessante objecten of verschijnselen*, zoals historische ophooglagen, objecten die in het verleden door menselijk handelen in bodem en ondergrond terecht zijn gekomen, resten van oude culturen (cultuurhistorische waarden), aardkundige en geologische interessante objecten (bodemprofielen, fossiel grondwater, karakteristieke breuken, sprengen en natuurlijke bronnen voor thermaal water en/of bronwater) (belevingswaarden).
2. Het *bodemgebruik* bepaalt mede de emotie die door grondwater en de ondergrond bij de mens kan worden opgeroepen (belevingswaarde). In stedelijk en bebouwd gebied is de mens zich waarschijnlijk minder van grondwater en de ondergrond bewust. In het landelijk gebied is er waarschijnlijk meer bewustzijn van de leefomgeving en daarmee ook van de ondergrond, omdat de mens geneigd is (onbewust) een relatie te leggen tussen wat er boven de grond gebeurt (met name de aanwezigheid van bomen en planten) en de ondergrond. Een speciale positie neemt de landbouw in. Een boer is zich bewust van het belang van grondwater en de ondergrond, voor wat betreft de verankering van landbouwproducten, de toelevering van water en opslag van nuttige stoffen. Dit bewustzijn is primair commercieel ingegeven, maar doorgaans heeft de boer ook ‘een goed gevoel’ bij zijn werkomgeving, waar grondwater en de ondergrond in meer of mindere mate onderdeel van uit maken. Voor volkstuinen is de beleving met het buitenleven doorgaans veel intenser en vaak een doel op zich. Hier maakt grondwater de ondergrond eveneens in meer of mindere mate onderdeel van uit. Een direct gebruik van de ondergrond, wat zowel bijdraagt aan een producerende dienst als aan een culturele dienst, is gebruik van water uit de ondergrond vanuit een eigen put, voor beregening en soms zelfs consumptie. Het gebruik van bronwater maakt de mens bewust van de ondergrond als bron voor fossiel water, dat een sterke associatie met gezondheid oproept.
3. Het *type en de omvang van de vegetatie* beïnvloedt het gevoel dat de mens met de omgeving heeft en daarmee, indirect, met grondwater (en de grondwaterstand) in de ondergrond.

4. De *waterhuishouding, in zo ver dit leidt tot grondwater dat aan de oppervlakte komt* (belevingswaarde). In dat geval kan de mens een bijzondere beleving hebben met dit water. Dat speelt met name in geval van bronnen en sprengen, maar kan ook van belang zijn in geval van het ontstaan van moerassen en natte gronden. De waterhuishouding wordt bepaald door het bodemtype, de grondwaterstand, de capillaire opstijging, het organische stofgehalte en het reliëf. De laatste factor, het reliëf, is vooral van belang voor het ontstaan van sprengen.
5. De *aanwezigheid van bodemvreemde materialen* in de bodem (artefacten) is in sommige gevallen gerelateerd aan de ontstaansgeschiedenis van bepaalde regio's in Nederland (cultuurhistorische waarden). Voorbeelden hiervan zijn de toemaakdekken in de provincies Noord- en Zuid-Holland en Utrecht en stedelijke ophooglagen, zoals in Leiden.
6. Educatieve projecten of activiteiten stimuleren mensen bewust met hun omgeving bezig te zijn, bijvoorbeeld met de ondergrond. Op de eerst plaats nemen de scholen hier een belangrijke rol in, maar ook natuurverenigingen, padvinders, etc. zijn actief op het gebied van promotie van natuurlijke aspecten. Educatie is veelal gericht op de aanwezigheid van water in de ondergrond, soms op grondwater als onderdeel van de hydrologische kringloop. En voorbeeld zijn publiekspeilbuizen, die bijvoorbeeld door de waterleidingmaatschappijen worden geplaatst in wandelgebieden. Deze maken mensen bewust van het feit dat er water in de ondergrond zit en dat het grondwater onderdeel uitmaakt van een dynamisch systeem.

Cultuurhistorische waarden zijn in principe een niet-uitputbare continue dienst, mits de mens onderhoud pleegt. Om draagvlak voor dergelijk onderhoud, en de daarmee gepaard gaande kosten, te krijgen en behouden moeten cultuurhistorische waarden worden geagendeerd, uitgelegd en gedoceerd.
Belevingswaarde is eveneens een niet-uitputbare continue dienst. Ten gevolge van de toenemende graad van bebouwing en verharding in Nederland krijgen mensen mogelijk steeds minder binding met geologische en groene elementen. Daarnaast is het bewustzijn van milieuverontreiniging toegenomen. Door deze factoren neemt de waarde van de ESD geleidelijk aan betekenis af. Anderzijds is een trend naar meer spiritualiteit en een toename van het gebruik van de ondergrond, waardoor de aandacht voor de belevingswaarde van de omgeving (waaronder grondwater en de ondergrond) juist toeneemt.

2 Gebruik van de Ecosysteemdienst

Op basis van de kruistabel 1 uit Broers en Lijzen (2014) (zie tabel 1), waarin aangeven wordt welke activiteiten gebruik maken van de ecosysteemdiensten, worden de volgende relevante activiteiten onderkend die gebruik maken van 'cultuurhistorische waarden en belevingswaarde':

- bewaren van culturele en archeologische waarden;
- recreatie.

Tabel 1: Relatie tussen de ecosysteemdienst 'Cultuurhistorische waarden en belevingswaarden' en de activiteiten (uit Broers en Lijzen, 2014).
J = activiteit maakt gebruik van de ecosysteemdienst, N = activiteit maakt geen gebruik van de ecosysteemdienst.

Activiteit	Specifieke activiteit	ESD
Onttrekkingen	Drinkwater	N
	Irrigatie uit grondwater	N
	Proceswater	N
	Koelwater	N
	Bouwactiveiten	N
	Beheer, sanering grondwaterverontreinigingen	N
Opslag	Opslag van regenwater voor proceswater	N
	Warmte en koude opslag	N
	Berging van (verontreinigd) sediment of afvalstoffen in zandwinputten	N
	Opslag radio-actief afval	N
	CO_2-opslag	N
	Brijnlozingen	N
	Kunstmatige infiltratie voor drinkwaterproductie (ASR)	N
Reserveringen	Bewaren van biodiversiteit/habitat van de ondergrond	N
	Bewaren van cultuurhistorische en archeologische waarden	J
	Reservering strategische grondwatervoorraden	N
Winning grondstoffen	Grind, zand en klei	N
	Zoutwinning	N
	Schaliegaswinning (incl. gebruik grondwater als proceswater)	N
	Olie- en gaswinning	N
	Geothermie	N
Ruimte beslag	Ondergrondse infrastructuur	N
	in-situ saneringen	N
Peilbeheer	Peilbeheer laag Nederland	N
	Peilbeheer hoog Nederland	N
Bovengrondse activiteiten	Beheer terrestrische/aquatische ecosystemen	N
	Recreatie (sportvisserij, zwemwater, natuurbeleving, thermae2000)	J
	Bodemafdichting	N
	Toepassen van meststoffen en bestrijdingsmiddelen	N
	Diffuse bodembelasting stedelijk gebied	N

'Bewaren van culturele en archeologische waarden' maakt direct gebruik van de aanwezigheid van 'cultuurhistorische waarden'. De wijze waarop deze onderhouden worden heeft ook weer invloed op de waarde.
'Recreatie' maakt in die zin gebruik van 'cultuurhistorische waarden' dat een specifieke vorm van recreatie het bezichtigen van objecten kan zijn die vanuit cultuurhistorisch perspectief interessant zijn.

Recreatie maakt veel gebruik van belevingswaarde. In zekere zin wordt echter dagelijks gebruik gemaakt van belevingswaarde, doordat de mens in positieve en negatieve zin beïnvloed wordt door zijn omgeving. Deze beleving is echter indirect, omdat de mens sterker beïnvloed wordt door ‘groene factoren’ en de aanwezigheid van oppervlaktewater dan direct door grondwater of de ondergrond.

3 Relaties tussen de Ecosysteemdienst, activiteiten en maatregelen

3.1 Hoe wordt de Ecosysteemdienst beïnvloed?

Een overzicht van de beïnvloeding van de ESD door verschillende activiteiten staat weergegeven in tabel 2. De invloed van de verschillende activiteiten op de ESD wordt in onderstaande tekst besproken per hoofdactiviteit.

Tabel 2: Beïnvloeding van ecosysteemdiensten door de activiteiten in de boven- en ondergrond.
+ = positieve invloed van activiteit op het in stand houden of vergroten van de ESD
- = negatieve invloed van activiteit op ESD (vermindering dienst)
+/- = zowel positieve als negatieve invloed mogelijk, afhankelijk van tijdsschaal of invalshoek
O = geen positieve en/of negatieve invloed van de activiteit
?= onbekend
(?) achter een ander teken zoals een +(?) dan is het effect onzeker.

Activiteit	**Specifieke activiteit**	**ESD10**
Onttrekkingen	Drinkwater	o
	Irrigatie uit grondwater	-
	Proceswater	o
	Koelwater	o
	Bouwactiveiten	-
	Onttrekking tbv beheer en saneringen grondwaterverontreinigingen	o
Opslag	Opslag van regenwater voor proceswater	o
	Warmte en koude opslag	o
	Berging van (verontreinigd) sediment of afvalstoffen in zandwinputten	o
	Opslag radio-actief afval	o
	CO_2-opslag	o
	Brijnlozingen	o
	Kunstmatige infiltratie voor drinkwaterproductie (ASR)	o
	NWRM	
Reserveringen	Bewaren van biodiversiteit/habitat van de ondergrond	+
	Bewaren van cultuurhistorische en archeologische waarden	+
	Reservering strategische grondwatervoorraden	o
Winning grondstoffen	Grind, zand en klei	-
	Bruinkoolwinning Naar Duits voorbeeld	-
	Zoutwinning	o
	Schaliegaswinning (incl. gebruik grondwater als proceswater)	o
	Olie- en gaswinning	o
	Geothermie	o
Ruimtebeslag	Ondergrondse infrastructuur	-
	aanpak grondwaterverontreiniging, incl. in-situ saneringen	o
Peilbeheer	Peilbeheer laag Nederland	+/-
	Peilbeheer hoog Nederland	+/-
Bovengrondse activiteiten	Beheer terrestrische/aquatische ecosystemen	o
	Recreatie (sportvisserij, natuurbeleving, thermae2000)	o
	Bodemafdichting	o
	Toepassen van meststoffen en bestrijdingsmiddelen	o
	Diffuse bodembelasting stedelijk gebied	o

In feite kunnen alle activiteiten die de ondergrond beïnvloeden de cultuurhistorische waarden en belevingswaarde aantasten. Dit is nog het

meest het geval voor de cultuurhistorische waarden. Deze kunnen worden aangetast of zelfs worden geëlimineerd door menselijke ingrepen in de ondergrond. Daarom kan de ecosysteemdienst cultuurhistorische waarden en belevingswaarde negatief beïnvloed worden door irrigatie uit grondwater, bouwactiviteiten, winning van zand, grind en klei, winning van bruinkool en ondergrondse infrastructuur. In vele gevallen is er echter oog voor cultuurhistorische waarden, waarbij extra moeite en geld wordt ingezet om specifieke cultuurhistorische waarden te behouden en te beschermen.
Het tegenovergestelde geldt voor activiteiten die bijdragen aan conservering van de ondergrond. Dit geldt voor bewaren van biodiversiteit van de ondergrond en bewaren van cultuurhistorische en archeologische waarden. Aangezien het bij de ecosysteemdienst cultuurhistorische waarden en belevingswaarde veelal gaat om conserveren, en slechts in weinig gevallen om verbeteren, is de positieve invloed van deze activiteiten vooral het in stand houden. Een waardevermeerdering is wel mogelijk door het zichtbaarder te maken.

3.2 Maatregelen om de ESD te optimaliseren

- Ten gevolge van fysisch-chemische verwering vindt continu een zeker afbraak van cultuurhistorische waarden plaats. Daarom moet door de mens regelmatig onderhoud gepleegd worden om dit te beschermen en te behouden.
- Om draagvlak voor dergelijk onderhoud, en de daarmee gepaard gaande kosten, te krijgen moeten cultuurhistorische waarden worden geagendeerd, uitgelegd en gedoceerd worden.
- Tegengaan van meer bebouwing en verharding is een maatregel om de beleving te handhaven. Ten gevolge van de toenemende graad van bebouwing en verharding in Nederland krijgen mensen in de stedelijke omgeving steeds minder binding met geologische en groene elementen. Daardoor neemt de waarde van de ESD geleidelijk aan af.
- Door een slimme ruimtelijke ordening kan veel worden gedaan aan het optimaliseren van beleving van ‘groene factoren’ in en nabij de woonomgeving van de mens.
- Ook informatie en educatie, en dus de media en scholen, dragen bij aan een intensievere beleving van groen en dus indirect van het grondwater en ondergrond.

3.3 Toekomstige trends die invloed hebben op de ESD

De trend na de Tweede wereldoorlog in Nederland is een toenemende graad van bebouwing, verharding en verontreiniging. Een gevolg is dat er meer druk komt op cultuurhistorische waarden en belevingswaarde van grondwater en de ondergrond. Anderzijds is er juist meer behoefte ontstaan aan spiritualiteit, waarbij natuur en milieu (waaronder grondwater en de ondergrond) een belangrijke rol spelen. Ten gevolge van klimaatverandering kan er eveneens meer druk komen op cultuurhistorische waarden en belevingswaarde, omdat hevige regenval of overstromingen tot aantasting van de ondergrond en objecten van culturele waarden kan leiden.

4 Beschikbare data over ESD

Op nationaal niveau bestaan kaarten van cultureel erfgoed, inclusief archeologisch objecten (Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed, 2013). Deze gegevens worden ook in DANK (Digitale Atlas Natuurlijk Kapitaal) opgenomen. Op provincie-niveau is eveneens cultureel erfgoed weergegeven op kaarten (bijvoorbeeld Noord-Holland, 2014). Vooralsnog is hier echter weinig aandacht voor de ondergrond, afgezien van culturele bodemvondsten, gerelateerd aan menselijke beschavingen.
De Bosatlas van ondergronds Nederland (Bosatlas, 2009) biedt inzicht in de kwantiteit, kwaliteit en gebruik van grondwater in Nederland. Bovendien is er informatie te vinden over de ondergrondse infrastructuur. De Bosatlas van Nederland Waterland (Bosatlas, 2010) geeft informatie over grondwaterpeilen, kwel en infiltratie, grondwaterkwaliteit en de aanwezigheid van Sprengen en geeft daarmee de belevingswaarde van het grondwater weer.
Op de kaart 'Ligging van Nederlandse mineraal- en bronwaterwinlocaties' (TNO-NITG, 2014) is een gedetailleerd overzicht gegeven van mineraal water, bronwater, overig verpakt water en geeft weer of dit gewonnen wordt in duinen, Pleistocene of Tertiaire afzettingen.

Opstellers:
F. Swartjes (RIVM, contactpersoon),
M. Rutgers (RIVM),
R. Stuurman (Deltares)

Referenties

- Bosatlas (2009). Bosatlas van ondergronds Nederland, juni 2009, Noordhoff uitgevers Groningen, ISBN 9789001122545
- Bosatlas (2010). Bosatlas van Nederland Waterland, Noordhoff uitgevers Groningen, ISBN 9789001902032
- Broers, H.P., Lijzen, J., 2014. Afwegingen bij het gebruik van grondwater en de ondergrond, Deltares-rapport 1207762-016, RIVM-rapport 607710003/2014.
- Noord-Holland (2014). Cultuurhistorische atlas. http://geo.zuid-holland.nl/geo-loket/html/atlas.html?atlas=chs (gezien 3 december 2014)
- Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed (2013). Cultureel Erfgoed op de kaart. Een nieuw cartografisch ontwerp. Hfdstuk 5. Kaartlaag met Archeologische monumenten
- TNO-NITG (2014). Ligging van Nederlandse mineraal- en bronwater-winlocaties. In: Geologie van Nederland, Bronwater en mineraalwater, http://www.geologievannederland.nl/ondergrond/afzettingen-en-delfstoffen/bronwater-en-mineraalwater (gezien 24/10/2014)
- TCB (2014). Advies ecosysteemdiensten grondwater. TCB A095 (2014)

Bijlage 11

Ecosysteemdienst 11 – Habitat en biodiversiteit van de ondergrond

Inhoud

1 Beschrijving van de Ecosysteemdienst — 164
1.1 Korte definitie — 164
1.2 Beschrijving van het systeem — 158

2 Gebruik van de Ecosysteemdienst — 167

3 Habitat en biodiversiteit van de ondergrond: relaties met maatschappelijke processen (activiteiten en maatregelen) — 169
3.1 Hoe wordt de Ecosysteemdienst beïnvloed? — 169
3.2 Maatregelen om de Ecosysteemdienst te optimaliseren — 171
3.3 Toekomstige trends die invloed hebben op de Ecosysteemdienst — 171

4 Beschikbare data over de Ecosysteemdienst ESD — 173

Belangrijkste conclusies en aanbevelingen:

De ecosysteemdienst nr 11. *'Habitat en biodiversiteit van de ondergrond'* omvat de grote hoeveelheid soorten en aantallen organismen in de ondergrond. Elk grootschalig ingrijpen van de mens heeft effect op de habitat en de diversiteit in de ondergrond, en tast de toestand van het natuurlijk kapitaal aan. Op twee manieren worden gebruikers daarmee geconfronteerd, namelijk een verlies van potentieel onontgonnen en nuttig genetisch materiaal, en beïnvloeding van de culturele ecosysteemdiensten (bewustzijn, educatieve en spirituele aspecten).

Bij gewenste ingrepen om meer of minder van andere ecosysteemdiensten te profiteren, kan door het geven van waarde aan de habitat en biodiversiteit van de ondergrond een transparante afweging worden gedaan. Voor de toekomst ligt er een uitdaging om dit niet monetariseerbare aspect op een praktische manier te kwantificeren, zodat dit in het afwegingskader of toolbox voor ecosysteemdiensten en natuurlijk kapitaal een plek kan krijgen.

1 Beschrijving van de Ecosysteemdienst

1.1 Korte definitie

De ondergrond en het grondwater (kortweg ondergrond) voorzien in een habitat en herbergt een grote en unieke verzameling van organismen die samen essentiële ecologische processen aandrijven. De habitat en de biodiversiteit van de ondergrond is dus, net als in de bodem (toplaag), een multidimensioneel concept waar het gaat om i) de omvang van het biotische en abiotische systeem (aantallen organismen, concentraties, activiteiten en fluxen), ii) de diversiteit en de complexiteit (soortenrijkdom, DNA moleculen, enzymen, bodemprocessen) en iii) de stabiliteit en dynamiek (weerstand tegen veranderingen, herstelvermogen, stabiliteit, ritme, evolutie).
CICES (2013) is dit op twee manieren in ecosysteemdiensten benoemd:

- Section: Regulation & Maintenance; Division: Maintenance of physical, chemical, biological conditions; Group: Lifecycle maintenance, habitat and gene pool protection; Class: Maintaining nursery populations and habitats.
- Section: Cultural; Division: Physical and intellectual interactions with biota, ecosystems, and land-/seascapes [environmental settings, Spiritual, symbolic and other interactions with biota, ecosystems, and land-/seascapes [environmental settings (all groups and classes)
- De eerste verwijst naar een trits toepassingen, maar ook naar een fysieke toepassing van de habitat en biodiversiteit in de ondergrond. De tweede verwijst naar de culturele ecosysteemdiensten, waarin een fysieke verbinding met de leefomgeving gemaakt wordt in combinatie met bewustwording en ethische aspecten van onze omgang met de leefomgeving, bijvoorbeeld door ruimte te geven aan het zogenoemde 'voorzorgprincipe' ('better safe than sorry'). Dit biedt tegenwicht voor ecosysteemdiensten in het economische verkeer, die dominant zijn in de sectie 'Provisioning'.

1.2 Beschrijving van het systeem

Het grondwaterecosysteem maakt deel uit van de biodiversiteit (CBD; www.CBD.org) in de aardse biosfeer, qua dichtheid minder dan in de occupatielaag, maar door het volume toch zeer omvangrijk. Het behoud van biodiversiteit is één van de vijf grote maatschappelijk opgaven (naast voedsel, water, klimaat en energie). De unieke verzameling van organismen herbergt een onbekende en onontgonnen rijke bron van genetisch materiaal, bijvoorbeeld als grondstof voor productontwikkeling in de life sciences.

Grondwater, de (verzadigde) ondergrond en bodem (dus exclusief gesteenten en andere 'dode' lagen) vormen op zichzelf een geheel uniek ecosysteem met een enorme hoeveelheid en diversiteit aan organismen (European Atlas of Soil Biodiversity 2010; http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/library/maps/biodiversity_atlas/). In het algemeen is de biomassa en de biodiversiteit ondergronds groter dan bovengronds. De aandacht voor het ondergrondse ecosysteem is echter

beperkt, waarschijnlijk als gevolg van het feit dat dit leven voor het grootste deel aan ons oog onttrokken is. Men beschouwt de ondergrond vaak onterecht als dode materie, die (winbare) grondstoffen herbergt, zoals water, grind, zout, gas en olie. In de ondergrond hebben micro-organismen (bacteriën, schimmels, gisten en protozoën) een dominante rol, maar er komen tot op grote diepte ook meercelligen voor. Biodiversiteit in de ondergrond kan beschouwd worden als tegenhanger van de normale connotatie van het begrip biodiversiteit via flora en fauna, die zich zelfs soms beperkt tot beschermde (rode lijst) soorten. Micro-organismen zijn betrokken bij de bulk van de ecologische processen, zoals vrijwel alle nutriëntenkringlopen.

De habitatfunctie en de ondergrondbiodiversiteit zijn een onderdeel van het natuurlijk kapitaal van het ecosysteem. Het kan een onderdeel worden van de bundel van ecosysteemdiensten waar men van profiteert, als er waarde aan wordt gehecht. Bij het bepalen hiervan zijn de volgende aspecten van (potentieel) belang:

- Bedoelde maatregelen voor de benutting van natuurlijk kapitaal en andere ecosysteemdiensten worden zo ingericht dat de verstoring op de habitatfunctie en de ondergrondbiodiversiteit beperkt blijft[13]. Voorbeeld zijn:
    - het beperken van het effect van het doorboren van lagen (WKO-systemen, schaliegas, geothermie) met maatregelen om lekkages te voorkomen,
    - het beperken van het effect van verontreiniging van de ondergrond, bijvoorbeeld door het gebruik van meststoffen en 'lekkende' stortplaatsen. Dit kan door beperkende maatregelen voor verdere verspreiding, en het stimuleren van natuurlijke afbraakprocessen in de ondergrond.
- maatregelen die niet in het kader van de optimalisering van ecosysteemdiensten worden ingezet, en die tevens een effect hebben op de ondergrond, worden tegengegaan (bijvoorbeeld afdekken, vergraven en verharden van de toplaag van de bodem).
- Er worden maatregelen getroffen om de bewustwording en eventuele ethische en spirituele aspecten te verbeteren door de habitatfunctie en de ondergrondbiodiversiteit in beeld te brengen. Voorbeeld zijn het opnemen van de rol van het bodemleven in onderwijscurricula, publieksgrondwaterpeilbuizen uitrusten met een "biomonitor", et cetera.
- De ondergrondbiodiversiteit wordt aangewend voor toekomstige productontwikkeling, bijvoorbeeld in de life-sciences.

Wanneer de habitat en de ondergrondbiodiversiteit worden aangetast door grootschalige ingrepen (bijvoorbeeld als gevolg van de benutting van andere ecosysteemdiensten, zoals drinkwaterwinning, of indirect via afwenteling als gevolg van te veel meststoffen in de landbouw), dan is herstel nauwelijks mogelijk (alleen op de grote ruimte en tijdschalen; >1000 jaar). De hersteltijd van ondergrondsystemen is trager dan de hersteltijd van de bodem (>100 jaar). Bij deze grootschalige ingrepen

[13] De mate waarin dit dient te gebeuren is afhankelijk van het relatieve gewicht wat men toekent aan deze ecosysteemdienst ten opzichte van alle andere ecosysteemdiensten. Dit is altijd context specifiek.

moeten habitat en biodiversiteit in de ondergrond beschouwd worden als niet-hernieuwbare hulpbronnen. Kleinschalige en directe toepassing van habitat en biodiversiteit, bijvoorbeeld als bron van genetisch materiaal in de life-sciences, heeft vaak door het geringe volume een marginaal effect.

2 Gebruik van de Ecosysteemdienst

In Broers en Lijzen (2014; zie tabel 1) worden drie activiteiten benoemd die gebruik maken van de ecosysteemdienst 'habitat en biodiversiteit':

1. Bewaren van biodiversiteit/habitat in de ondergrond voor toekomstig gebruik.
2. Beheer van terrestrische en aquatische ecosystemen (natuurbeheer)
3. Recreatie

Tabel 1: Relatie tussen de ecosysteemdienst 'beschikbaarheid voldoende water van een bepaalde kwaliteit' en de activiteiten (uit Broers en Lijzen, 2014). .J = activiteit maakt gebruik van de ecosysteemdienst, N = activiteit maakt geen gebruik van de ecosysteemdienst.

Activiteit	Specifieke activiteit	ESD11
Onttrekkingen	Drinkwater	N
	Irrigatie uit grondwater	N
	Proceswater	N
	Koelwater	N
	Bouwactiveiten	N
	Beheer, sanering grondwaterverontreinigingen	N
Opslag	Opslag van regenwater voor proceswater	N
	Warmte en koude opslag	N
	Berging van (verontreinigd) sediment of afvalstoffen in zandwinputten	N
	Opslag radio-actief afval	N
	CO_2-opslag	N
	Brijnlozingen	N
	Kunstmatige infiltratie voor drinkwaterproductie (ASR)	N
Reserveringen	Bewaren van biodiversiteit/habitat van de ondergrond	J
	Bewaren van cultuurhistorische en archeologische waarden	N
	Reservering strategische grondwatervoorraden	N
Winning grondstoffen	Grind, zand en klei	N
	Zoutwinning	N
	Schaliegaswinning (incl. gebruik grondwater als proceswater)	N
	Olie- en gaswinning	N
	Geothermie	N
Ruimte beslag	Ondergrondse infrastructuur	N
	in-situ saneringen	N
Peilbeheer	Peilbeheer laag Nederland	N
	Peilbeheer hoog Nederland	N
Bovengrondse activiteiten	Beheer terrestrische/aquatische ecosystemen	J
	Recreatie (sportvisserij, zwemwater, natuurbeleving, thermae2000)	J
	Bodemafdichting	N
	Toepassen van meststoffen en bestrijdingsmiddelen	N
	Diffuse bodembelasting stedelijk gebied	N

Ad 1. De eerste is ondergebracht onder zogenoemde activiteit 'reserveringen'. Het is onduidelijk of hier tevens de culturele en spirituele aspecten van deze ecosysteemdienst bedoeld worden, zoals onderwijs en bewustzijn. Deze worden in deze beschrijving van de ESD wel meegenomen. De (toekomstige) gebruikers die het 'bewaren van habitat/biodiversiteit' gewicht kunnen meegeven zijn:

a. industriële gebruikers in de life sciences voor de ontwikkeling van nieuwe producten
b. onderwijsontwikkelaars en leerkrachten
c. maatschappelijke organisaties voor milieu en natuur

Ad 2. De tweede activiteit, 'Beheer van terrestrische en aquatische ecosystemen', is ondergebracht onder 'bovengrondse activiteiten' en betreft natuurbeheer. De relatie tussen natuur- en groenbeheer en deze ecosysteemdienst is betrekkelijk gering[14] , behalve in de overgangszone tussen de toplaag van de bodem en de ondergrond. In deze zone is de habitat en biodiversiteit van belang voor het functioneren van de bodem en het bovengrondse ecosysteem. Gebruikers die deze ecosysteemdienst gewicht kunnen geven zijn:

a. alle burgers die gebruik maken van natuur en groene elementen in hun leefomgeving
b. natuurbeheerders, -terreinontwikkelaars en –inrichters, groenbeheerders, en
c. natuurbeleidsmakers, gebiedsontwikkelaars

Ad. 3. Het derde punt betreft 'recreatie' en is ook ondergebracht onder de activiteit 'bovengrondse activiteiten. Volgens nieuwe inzichten is er beperkte relatie tussen de habitat en biodiversiteit van de ondergrond en recreatie, die niet al benoemd is via de waardering van natuur en andere groene elementen. Er is wel een relatie met onderwijs en spirituele aspecten, maar deze is in een andere categorie opgenomen, namelijk de activiteit 'reservering' (zie boven). Het voorstel is dus om 'recreatie' te verwijderen als gebruikersgroep van deze ecosysteemdienst. In de CICES-systematiek is recreatie niet direct benoemd in de terminologie (wel indirect in de sectie van culturele ecosysteemdiensten).

[14] De verwarring kan zijn ontstaan in de discussie over 'bodembiodiversiteit als doel' zoals in deze factsheet en 'bodembiodiversiteit als middel', bijvoorbeeld om goed-draaiende stofkringlopen te hebben.

3 Habitat en biodiversiteit van de ondergrond: relaties met maatschappelijke processen (activiteiten en maatregelen)

3.1 Hoe wordt de Ecosysteemdienst beïnvloed?

Een overzicht van de beïnvloeding van de ESD door verschillende activiteiten staat weergegeven in tabel 2. De invloed van de verschillende activiteiten op de ESD wordt in onderstaande tekst besproken per hoofdactiviteit.

Tabel 2: Beïnvloeding van ecosysteemdiensten door de activiteiten in de boven- en ondergrond.
+ = positieve invloed van activiteit op het in stand houden of vergroten van de ESD
- = negatieve invloed van activiteit op ESD (vermindering dienst)
+/- = zowel positieve als negatieve invloed mogelijk, afhankelijk van tijdsschaal of invalshoek
O = geen positieve en/of negatieve invloed van de activiteit
?= onbekend
(?) achter een ander teken zoals een +(?) dan is het effect onzeker.

Activiteit	**Specifieke activiteit**	**ESD11**
Onttrekkingen	Drinkwater	o
	Irrigatie uit grondwater	o
	Proceswater	o
	Koelwater	o
	Bouwactiveiten	o
	Onttrekking tbv beheer en saneringen grondwaterverontreinigingen	+/-
Opslag	Opslag van regenwater voor proceswater	o
	Warmte en koude opslag	?
	Berging van (verontreinigd) sediment of afvalstoffen in zandwinputten	o
	Opslag radio-actief afval	o/?
	CO2-opslag	o
	Brijnlozingen	o
	Kunstmatige infiltratie voor drinkwaterproductie (ASR)	o
	NWRM	
Reserveringen	Bewaren van biodiversiteit/habitat van de ondergrond	+
	Bewaren van cultuurhistorische en archeologische waarden	o
	Reservering strategische grondwatervoorraden	+
Winning grondstoffen	Grind, zand en klei	-
	Bruinkoolwinning Naar Duits voorbeeld	-
	Zoutwinning	o
	Schaliegaswinning (incl. gebruik grondwater als proceswater)	o
	Olie- en gaswinning	o
	Geothermie	o
Ruimtebeslag	Ondergrondse infrastructuur	o
	aanpak grondwaterverontreiniging, incl. in-situ saneringen	o
Peilbeheer	Peilbeheer laag Nederland	o
	Peilbeheer hoog Nederland	o
Bovengrondse activiteiten	Beheer terrestrische/aquatische ecosystemen	+
	Recreatie (sportvisserij, natuurbeleving, thermae2000)	o
	Bodemafdichting	-
	Toepassen van meststoffen en bestrijdingsmiddelen	-
	Diffuse bodembelasting stedelijk gebied	-

De ecosysteemdienst 'habitat en biodiversiteit in de ondergrond' wordt door een veelheid van maatregelen en activiteiten beïnvloed (Broers en Lijzen, 2014; kruistabel 2). De kennis over het gebruik en de aantasting van dit aspect van het natuurlijk kapitaal en de afgeleide ecosysteemdiensten is overigens heel beperkt, door het ontbreken van basisinformatie. In scherpe tegenstelling tot de bodem (toplaag) en bovengrond, is de ecologie van de ondergrond niet goed in kaart gebracht. De soorten die in het ecosysteem van de ondergrond voorkomen en de risico's die het gevolg zijn van niet-duurzaam beheer zijn nagenoeg onbekend (TCB 2012, advies R22; Van Beelen et al 2007, RIVM rapport 711701055, Griffioen et al. 2014, Science of the Total Environment 485-486: 810-819). Op basis van algemene ecologische principes kunnen hierover toch plausibele en bruikbare uitspraken worden gedaan.
De ongerepte situatie kan beschouwd worden als de doelstelling voor de goede toestand van dit onderdeel van het natuurlijk kapitaal. Het is dan niet nodig om de natuurlijke invloeden op deze ecosysteemdienst te adresseren; alle menselijke invloeden kunnen als een afwijking van de doelstellig voor optimale benutting worden beschouwd.
Ongerepte ondergrondecosystemen zijn in balans met alle overige aspecten van de leefomgeving en voorzien in een specifieke biodiversiteit, een geringe dichtheid (behalve in de dunne toplaag, daar juist een grote dichtheid), maar groot totaalvolume. Door de omvang van het ondergrondsysteem (volume) is de bijdrage van de habitat en de biodiversiteit in de ondergrond aan de stofkringlopen substantieel (zie ecosysteemdienst 6 'Biogeochemische cycli').
Veel activiteiten en bedoelde en onbedoelde neveneffecten van menselijk handelen voor de optimalisering van bepaalde ecosysteemdiensten van bodem en ondergrond, hebben een (potentieel) effect op de habitat en biodiversiteit in de ondergrond. De veronderstelling is dat dit effect als negatief beoordeeld dient te worden. Het is dan dus zaak om een afweging te maken of de positieve beïnvloeding van bepaalde ecosysteemdiensten opweegt tegen de negatieve beïnvloeding van de habitat en biodiversiteit in de ondergrond. Hiervoor zijn instrumenten nodig om de beïnvloeding van de habitat en biodiversiteit van de ondergrond praktisch te kunnen kwantificeren. van
De volgende activiteiten zijn door Broers en Lijzen (2014) aangemerkt als van invloed op de habitat en de biodiversiteit van de ondergrond (tussen haakjes verondersteld effect):

1. (+/-) Onttrekking in verband met beheer en sanering van grondwaterverontreiniging
2. (?) Warmte Koudeopslag
3. (-) Opslag van radioactief afval
4. (+) Reservering van strategische grondwatervoorraad
5. (-) Winningen zand, klei, grind, en bruinkool
6. (+) Beheer van terrestrische ecosystemen (natuur en groen)
7. (-) Bodemafdichting
8. (-) Gebruik van meststoffen
9. (-) Diffuse verontreiniging

Momenteel is het alleen op een indicatieve, relatieve en niet-waardevrije manier mogelijk om de impact van diverse beheer maatregelen op de habitat en biodiversiteit van de ondergrond kwantitatief in te schatten (TCB 2012, advies R22; Van Beelen et al

2007, RIVM rapport 711701055; KWR 2010, Ordening van de ondergrond, rapport project A308222). Bovendien is ze vanwege de grote heterogeniteit voor elke plek in Nederland weer anders. Onderstaande serie ingrepen zijn geordend op geschatte afnemende overall impact op nationaal niveau. Deze lijst moet worden beschouwd als een aanzet tot verdere gedachtenvorming, en niet als een definitieve volgorde:

1. Inpolderen en ontpolderen
2. Peilbeheer (verwijderen van het neerslagoverschot en grondwaterstandbeïnvloeding)
3. Vermesting en verontreiniging in stedelijk en landelijk gebied
4. Wateronttrekkingen en -winningen (alle winningen; diep en ondiep)
5. Doorboren van lagen, aanbrengen van hydrologische barrières, inclusief WKO en schaliegas
6. Delfstoffen en opslag (zand, klei, grind, brein, afval, cavernes) en aanleg (ondergrondse) infrastructuur

De positieve effecten uit de kruistabel 2 van Broers et al. (2014), zijn verdisconteerd in bovenstaande lijst als het voorkomen of vermijden van een negatieve impact.

3.2 Maatregelen om de Ecosysteemdienst te optimaliseren

De fysieke reservering van de habitat en biodiversiteit van de ondergrond is, zoals hierboven is aangenomen, gebaat bij zo min mogelijk verstoring. Elke vermindering (van effecten van; zie boven voor een eerste werklijst) op voorgenomen ingrepen in de ondergrond heeft een positief effect op de fysieke reservering.
Voorbeelden van positieve effecten op de ecosysteemdienst 'habitat en biodiversiteit in de ondergrond' (; zie ook de lijst hierboven):

- Verminderen van actief peilbeheer om een meer natuurlijke hydrologie te verkrijgen (inclusief ontpolderen).
- Elke beperking op de toepassing van grondwater als hulpbron voor drink-, drenk-, beregening- en proceswater.
- Vermindering van het gebruik van meststoffen in de landbouw
- Bij boringen (WKO-installaties, geothermische systemen) en afgravingen (zout, zand, klei en grint) de kans op lekkages tussen dichte lagen beperken.

Naast een fysieke reservering van de habitat en de biodiversiteit van de ondergrond bestaat deze ecosysteemdienst ook uit aandacht voor bewustwording en spirituele aspecten. Deze worden beïnvloed door informatie over deze ecosysteemdiensten over te brengen naar individuen en instanties, die deze toepassen, bijvoorbeeld om hun doelen te verwezenlijken (beter onderwijs, aandacht voor de leefomgeving). Realisatie hiervan wordt verkregen door ontsluiting van informatie via verschillende kanalen, zoals:

1. behandeling in onderwijssystemen,
2. zichtbaarheid in het veld (bijv. publieke grondwaterpeilbuisinstallaties),
3. andere vrij toegankelijke publieksinformatie (bijv. ……).

3.3 Toekomstige trends die invloed hebben op de Ecosysteemdienst

Het watermanagement (peilbeheer, waterwinning) in Nederland heeft een groot effect op ondergrondse ecosystemen. Als gevolg van

zeespiegelstijging, veranderende neerslagpatronen en autonome (soms onbedoelde) processen is het huidig waterbeheer niet overal toekomstbestendig. In het veenweidegebied bijvoorbeeld is verdere peilverlaging (tov NAP) usance als gevolg van bodemdaling. Veranderingen in het peilbeheer zullen noodzakelijk zijn, maar zullen effecten hebben op de toplaag van de bodem en de ondergrond, inclusief de habitat en biodiversiteit in de ondergrond.

4 Beschikbare data over de Ecosysteemdienst ESD

Er is relatief weinig informatie beschikbaar over de habitat en biodiversiteit van de ondergrond in vergelijking met informatie over habitat en biodiversiteit van de bodem en bovengronds (TCB 2012, advies R22; Van Beelen et al 2007, RIVM rapport 711701055). Dat neemt niet weg dat verondersteld moet worden dat de biodiversiteit heel groot is (mede door het grote volume), en dat het ondergrondse ecosysteem een grote rol speelt bij de geochemische cycli. Naast wetenschappelijke publicaties, zijn er ook enkele populaire bronnen, zoals beeldmateriaal. De informatie is echter dusdanig fragmentarisch, dat het nog niet mogelijk is om een (ruimtelijke expliciet) kwantitatief beeld te vormen. Enkele bronnen die beschikbaar zijn:

- Borgonie, G., Garcı´a-Moyano, A., Litthauer, D., Bert, W., Bester, A., Van Heerden, E., Möller, C., Erasmus, M., Onstott, T.C. et al. (2014) Nematoda from the terrestrial deep subsurface of South Africa Nature 474: 79-82.
- Pedersen, K. (1993) The deep subterranean biosphere. Earth Sci. Rev. 34, 243–260
- Onstott, T. C. et al. in Enigmatic Microorganisms and Life in Extreme Environments (ed. Seckbach, J.) 487–500 (Kluwer, 1998).
- Amend, J. P. & Teske, A. Expanding frontiers in deep subsurface microbiology. Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol. 219, 131–155 (2005).
- Whitman, W. B., Coleman, D. C. & Wiebe, W. J. Prokaryotes: the unseen majority. Proc. Natl Acad. Sci. USA 95, 6578–6583 (1998).
- (TCB 2012, advies R22;
- Van Beelen et al 2007, RIVM rapport 711701055
- KWR 2010, Ordening van de ondergrond, rapport project A308222
- Digitale Atlas Natuurlijk Kapitaal (2014) kaarten met grondwatergegevens

Opstellers:
Michiel Rutgers (Michiel.rutgers@rivm.nl, contactpersoon);
Patrick van Beelen (RIVM);
Bas van der Zaan (Deltares)

Referenties

- CICES (2013) Common International Classification of Ecosystem Services (CICES): Consultation on Version 4, August-December 2012 (Haines-Young R, Potschin M, eds.), EEA Framework Contract No EEA/IEA/09/003 (Download at www.cices.eu or www.nottingham.ac.uk/cem) TCB 2012, advies R22;
- Van Beelen et al 2007, RIVM rapport 711701055,
- Griffioen et al. 2014, Science of the Total Environment 485-486: 810-819.
- European Atlas of Soil Biodiversity 2010; http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/library/maps/biodiversity_atlas/).
- Broers en Lijzen, 2014. Broers en Lijzen, 2014. Afwegingen bij het gebruik van grondwater en de ondergrond. Een verkenning op basis van ecosysteemdiensten. Deltares rapport 1207762-016, RIVM-rapportnr. 607710003/2014.
- KWR 2010, Ordening van de ondergrond, rapport project A308222

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

Deltares
Enabling Delta Life