DUURZAAM GEBRUIK VAN DE ONDERGROND

GEREEDSCHAP VOOR STRUCTUUR EN VISIE

WERKGROEP DUURZAAM GEBRUIK ONDERGROND

Technische commissie bodem

Duurzaam gebruik van de ondergrond

Gereedschap voor structuur en visie

Technische
commissie
bodem

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

Dit rapport is opgesteld door Justine Oomes,
met bijdragen van de werkgroep.
Redactie: Joke van Wensem
Ontwerp: Het Lab – grafisch ontwerpers

Technische commissie bodem
Postbus 30947
2500 GX Den Haag
T 070-456 65 596
www.tcbodem.nl

FSC
www.fsc.org
MIX
Papier van verantwoorde herkomst
FSC® C006922

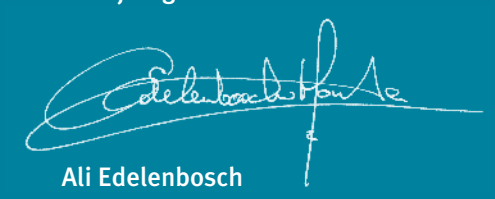
foto omslag: Ge Dubbelman/Hollandse Hoogte

Voorwoord

Voor u ligt het rapport van de werkgroep Duurzaam Gebruik Ondergrond. De werkgroep is opgericht door de Technische commissie bodem (TCB), omdat er aanzienlijke ontwikkelingen op het beleidsterrein van duurzaam gebruik van de ondergrond worden voorzien. De werkgroep heeft als opdracht gekregen de TCB te informeren over de stand van zaken van gebruik van de ondergrond en een visie te geven op duurzaam benutten van de ondergrond.

De werkgroepleden zijn deskundigen ten aanzien van de meer 'technische aspecten' van gebruik van de ondergrond. De werkgroep heeft een waardevol rapport opgesteld dat kan bijdragen aan oplossingen voor problemen die samenhangen met de toenemende drukte in de ondergrond. Dit rapport kan gebruikt worden bij het tot stand komen van de Structuurvisie Ondergrond, die thans in voorbereiding is bij het ministerie van IenM. De TCB heeft al dankbaar gebruik gemaakt van de deskundigheid van de werkgroep voor het advies Elementen voor duurzaam gebruik van de ondergrond.

Rest mij namens de TCB de werkgroepleden te bedanken voor hun inzet en bijdragen.



Ali Edelenbosch
Voorzitter TCB

Inhoud

1 INLEIDING **7**
Werkgroep Duurzaam Gebruik Ondergrond *9*
Ontwikkelingen in het bodembeleid *9*
TCB over duurzaam gebruik van de ondergrond *10*
leeswijzer *12*

2 BENUTTEN VAN DE ONDERGROND **13**
Gebruik van de ondergrond, van toplaag tot diepe ondergrond *13*
Effecten van gebruik *17*
Praktijkvoorbeelden *18*
Leren van het gebruik van de ondergrond *38*

3 ELEMENTEN VOOR HET AFWEGEN VAN DUURZAAMHEID **39**
Duurzaamheid *39*
Elementen *40*
Eigenschappen van het gebruik: efficiëntie, tijdsduur, optimalisatie, schaarste *41*
Maatschappelijke belangen *43*
Juridische beginselen *45*
Conclusie *47*

4 METHODIEKEN VOOR AFWEGEN **49**
Aandachtspunten bij een afweging *50*
Voorbeelden van afwegen van gebruik van de ondergrond *53*
Conclusie *66*

5 OMGAAN MET ONZEKERHEDEN 67
Onzekerheden 67
Omgaan met onzekerheden in de praktijk 71
Monitoren, karakteriseren en modelleren 75
Regie bij het omgaan met onzekerheden 76
Aandachtspunten bij het omgaan met onzekerheden 77

6 REGIE 79
Regie en sturing door de overheid 80
Juridische instrumenten 83
Financieel-economische sturing 87
Communicatie 88
Innovatie 90
Conclusie 90

7 SYNTHESE EN AANBEVELINGEN 91
Projectuitvoering 91
Overheidsbeleid 92
Tot slot 95

8 LITERATUUR 97

BIJLAGE 1: SAMENSTELLING WERKGROEP DUURZAAM GEBRUIK ONDERGROND 103

BIJLAGE 2: BEREKENINGSMETHODEN EFFICIËNT GEBRUIK ONDERGROND ALS ENERGIELEVERANCIER 104

1 Inleiding

In de ontwikkeling van het bodembeleid is accent gelegd op gebruik van de ondergrond[1] en wordt gezocht naar een balans tussen beschermen en benutten. De Technische commissie bodem (TCB) adviseert op technisch-wetenschappelijke basis aan de overheid over het bodembeleid en ondersteunt met haar adviezen ontwikkelingen in het bodembeleid. Omdat er aanzienlijke ontwikkelingen op het beleidsterrein van duurzaam gebruik van de ondergrond werden voorzien, heeft de TCB in 2009 de werkgroep Duurzaam Gebruik Ondergrond opgericht. De werkgroep heeft als opdracht gekregen de TCB te informeren over de stand van zaken van gebruik van de ondergrond en een visie te geven ten aanzien van duurzaam benutten van de ondergrond.

In dit inleidende hoofdstuk wordt geschetst hoe de werkgroep zijn opdracht heeft opgepakt. Daarna wordt de ontwikkeling geschetst die het bodembeleid in het afgelopen decennium heeft doorgemaakt. Ook worden de eerder uitgebrachte adviezen van de TCB over duurzaam gebruik van de ondergrond kort besproken. Tot slot is er een leeswijzer voor de overige hoofdstukken opgenomen.

1 *Door de verschillende benaderingswijzen van de bodem en de verschillende benamingen, bodem en ondergrond, lijkt het of er over twee verschillende compartimenten gesproken wordt. Het gaat echter om één en hetzelfde compartiment bodem, zoals ook bedoeld in de Wet bodembescherming. Waar in de huidige beleidsontwikkeling gesproken wordt over gebruik van de ondergrond, wordt gesproken over gebruik van de bodem en het grondwater (TCB 2008).*

Werkgroep Duurzaam Gebruik Ondergrond

De werkgroep Duurzaam Gebruik Ondergrond bestaat uit een aantal deskundigen op het gebied van ondergrond of een specifiek gebruik daarvan, waar onder enkele leden van de TCB met een vergelijkbare expertise (zie bijlage 1, samenstelling werkgroep). Vanuit een technisch-wetenschappelijke invalshoek heeft de werkgroep diverse praktijkvoorbeelden van gebruik van de ondergrond besproken.

Naast gebruiksvormen van de ondergrond die een bijdrage moeten gaan leveren aan 'nieuwe' maatschappelijke thema's, zoals leefomgevingskwaliteit, duurzame energievoorziening en efficiënt ruimtegebruik zijn er bestaande gebruiksvormen, zoals drinkwatervoorziening, ruimtegebruik voor kabels en leidingen en gebruik van bodem voor landbouw en natuur. Duurzaam gebruik van de ondergrond heeft betrekking op het kunnen blijven benutten voor bestaande gebruiksvormen en het inpassen van nieuwe gebruiksvormen. Daarbij moet rekening gehouden worden met de onderlinge verbondenheid van bodem, grondwater, de organismen en alle chemische-, fysische- en biologische eigenschappen en processen.

In dit rapport brengt de werkgroep de kansen die de ondergrond biedt voor het voetlicht. Door benutting van deze kansen wordt het drukker in de ondergrond. Planning, regie en aandacht voor onzekerheden worden dan noodzakelijk. De werkgroep heeft vanuit de praktijk geïnventariseerd welke elementen en methoden het meest bijdragen aan duurzaam gebruik van de ondergrond.

Ontwikkelingen in het bodembeleid

Met het verschijnen van de Beleidsbrief Bodem in 2003 van het ministerie van VROM werd een transitie in het bodembeleid ingeluid (VROM, 2003). De Beleidsbrief Bodem stelt het gebruik van de bodem centraal met als doel een bewuster en duurzamer gebruik van de bodem te realiseren. In 2004 verscheen de Beleidsbrief Ruimtelijke Ordening Ondergrond die het streven naar duurzaam gebruik van de ondergrond onderstreept, met de aantekening dat de ondergrondse ruimte geordend moet worden om potentiële conflicten te voorkomen (VROM, 2004). In beide beleidsbrieven is aandacht voor kennisontwikkeling en kennisbundeling, die nodig zijn om de gevolgen van bodemgebruik op de lange termijn te kunnen beoordelen.

Balanceren tussen beschermen en benutten.

Op een bestuurdersconferentie in mei 2008 tekenden rijk, gemeenten, provincies en waterschappen de Intentieverklaring bodem (SenterNovem, 2008) waarin afspraken waren neergelegd over de prioriteiten in het bodembeleid. De Intentieverklaring was het startpunt van het opstellen van het Convenant bodemontwikkelingsbeleid en aanpak spoedlocaties, dat in juli 2009 door genoemde partijen is ondertekend. De behoefte tot verdieping en verbreding van het bodembeleid te komen, is opgenomen in het Convenant. De volgende punten staan centraal (VROM, 2009a):

- Het verwerven van kennis over de risico's van het gebruik van de ondergrond.
- Het benutten van de kansen van de ondergrond (voor bijvoorbeeld ondergronds bouwen, bodemenergie, CO_2- en gasopslag) en het verschaffen van instrumenten hiervoor, met behoud van kwaliteit.
- Het optimaliseren van samenhang en afstemming tussen de verschillende beleidsdoelen (energie, water, biodiversiteit, bodem, en ruimtelijke ontwikkeling) teneinde de meest efficiënte benadering te bereiken.
- Het waar nodig aanpassen van de bestuurlijke taakverdeling toegesneden op een optimale uitvoering van taken en bevoegdheden.

In april 2010 stemde de ministerraad in met de Beleidsvisie duurzaam gebruik ondergrond (VROM, 2010a). In deze visie is uitgewerkt hoe aan bodem beleidsmatig een leidende en integrerende rol wordt toebedacht. In de beleidsvisie zijn maatschappelijke opgaven en kabinetsdoelstellingen centraal geplaatst en is een functiegerichte benadering gekozen voor afwegen van duurzaam gebruik van de ondergrond. "Het rijk", zo wordt gesteld in de beleidsvisie, "is zich ervan

bewust dat voor een goede afweging voldoende kennis en inzicht nodig is in de gevolgen van ingrepen in de bodem voor de functies van die bodem en het proces om tot afwegingen te komen (...). Het kabinet zal de essentiële elementen van duurzaam gebruik van de ondergrond uitwerken samen met de andere overheden." Dit rapport van de werkgroep is een bijdrage aan het inventariseren van deze elementen.

TCB over duurzaam gebruik van de ondergrond

In 1996 publiceerde de toenmalige TCB-werkgroep Diepe ondergrond een rapport onder de titel 'Diepe ondergrond en bodembescherming, denken in vier dimensies' (TCB, 1996). In het voorwoord van dit rapport concludeerde de TCB: "Het rapport maakt duidelijk dat de beschikbare en voor menselijk gebruik geschikte ruimte niet onbeperkt is. Om op verantwoorde wijze van de diepe ondergrond gebruik te maken is een totaalvisie op de bestemming nodig. De bestaande milieuwetgeving en mijnwetgeving zouden, indien het toenemend gebruik, zoals in het rapport wordt voorzien, reëel blijkt te zijn, aangevuld moeten worden met een ruimtelijk ordeningsbeleid van de diepe ondergrond. De commissie merkt hierbij op dat dit vooraf dient te worden gegaan door een meer kwantitatieve inventarisatie van de omvang en uitgestrektheid van activiteiten in de ondergrond."

In 2008 bracht de TCB het preadvies Duurzaam gebruik van de ondergrond uit, waarin gesteld wordt dat het publieke belang in gebruik van de ondergrond vooral zit in de zorg voor een duurzaam gebruik van de ondergrond (TCB, 2008). De TCB verwelkomt de ontwikkelingen op het gebied van het gebruik van de ondergrond. Denkend vanuit het voorzorgbeginsel pleit de onzekerheid over de gevolgen van het gebruik van de ondergrond echter voor voorzichtigheid en terughoudendheid in het benutten van de diensten van de ondergrond. Teneinde de huidige wensen voor gebruik niet onnodig te belemmeren, zou de insteek moeten zijn dat de overheid onderzoeksvoorwaarden, monitoringseisen en randvoorwaarden verbindt aan het gebruik van de ondergrond. De TCB noemt het gebruik van de ondergrond waarbij gewerkt wordt volgens risicobeheersingsmethoden als mogelijkheid om ruimte te bieden aan de ontwikkelingen terwijl door intensief monitoren tegelijkertijd kennis wordt verzameld. Zolang de specifieke kennis ontbreekt, zal er op andere, meer algemene wijze, invulling gegeven moeten worden aan de duurzaamheidsafweging. In de duurzaamheidsafweging moet op de eerste plaats de geschiktheid van de bodem voor een beoogd

gebruik worden vastgesteld. Naast de geschiktheid van de bodem spelen schaal, tijdsduur en intensiteit van een gebruik eveneens een belangrijk rol met inbegrip van de gevestigde belangen van het bovengronds bodemgebruik evenals de al gevestigde belangen van ander gebruik van de ondergrond.

In 2009 bracht de TCB op verzoek van het ministerie van VROM het advies Duurzaam gebruik van de bodem voor WKO en het advies Beleidsvisie duurzaam gebruik ondergrond uit (TCB, 2009a respectievelijk TCB, 2009b). Ook verscheen in 2009 het rapport Gebruik van de ondergrond, ingrediënten voor een afweging, dat in opdracht van de TCB door Royal Haskoning is opgesteld (Westerhof *et al*,. 2009). In het rapport wordt een aanzet gegeven tot het afwegingsproces dat nodig is om tot duurzaam gebruik van de ondergrond te komen. Hiertoe worden de verschillende aspecten aan gebruik van de ondergrond geordend, zoals effecten, risico's, tijd en schaal. Door deze ordening ontstaat er een beeld van wat van belang kan zijn bij het afwegen van diverse vormen van gebruik van de ondergrond.

De voor menselijk gebruik geschikte ruimte is niet onbeperkt.

In het advies over de Beleidsvisie stelt de TCB dat de ondergrond in meerdere opzichten een schaars goed is en dat prioriteiten stellen bij het benutten van de ondergrond daarom noodzakelijk is. De mogelijkheden en beperkingen van de ondergrond zijn niet afdoende bekend en daarom is het voorzorgsprincipe van toepassing. Het is terecht dat het gebruik van de ondergrond wordt gekoppeld aan maatschappelijke opgaven. Maatschappelijke opgaven veranderen in de loop van de tijd. De huidige maatschappelijke opgaven zijn een accent in de meer algemene maatschappelijke belangen die gemoeid zijn met het gebruik van de ondergrond. De gevolgen van ondergronds gebruik moeten worden afgewogen tegen de gevolgen voor de bodem, het bovengronds gebruik, ander ondergronds gebruik en de toekomstige gebruikswaarde van de ondergrond. Het gebruik van de ondergrond moet worden gekoppeld aan verbetering van het bovengrondse gebruik. Duurzaam gebruik van de ondergrond zal zowel in ruimtelijke zin als in functionele zin afgewogen moeten worden. Het is zaak dat ruimte en functie van de ondergrond afzonderlijk en in onderlinge samenhang in een afweging worden bezien. De werkgroep heeft kennis genomen van deze adviezen en geeft vanuit de praktijk aan, hoe hier invulling aan kan worden gegeven.

Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt het gebruik van de ondergrond beschreven, waarbij de ondergrond is opgedeeld in vijf lagen. Verder zijn de volgende praktijkvoorbeelden opgenomen: ruimtegebruik & ondergronds bouwen, grondverzet & verondiepen plassen, saneren van de bodem, warmte- koudeopslag, CO_2-opslag, zoutwinning en geothermie. Het hoofdstuk eindigt met de lessen uit die praktijkvoorbeelden. In hoofdstuk 3 worden in brede zin de verschillende aspecten besproken die meegenomen moeten worden in het afwegen van de duurzaamheid van gebruik van de ondergrond. Hierbij worden drie categorieën van wegingselementen onderscheiden: eigenschappen van het gebruik en ondergrond zelf, maatschappelijke belangen en juridische beginselen. In hoofdstuk 4 worden diverse methoden besproken die behulpzaam kunnen zijn bij het inzichtelijk maken van een afweging. Eerst wordt een aantal algemene aandachtspunten voor afwegen benoemd. De methoden zijn in te delen naar afwegen van nut en noodzaak versus effecten en gevolgen, afwegen met basisgegevens en afwegen met alternatieven. De factor 'tijd' in een afweging wordt besproken, waarbij het belang van monitoren en modelleren aan de orde komt. Gebruik van de ondergrond gaat gepaard met onzekerheden. In hoofdstuk 5 wordt beschreven hoe omgegaan kan worden met deze onzekerheden. In hoofdstuk 6 is er aandacht voor de rol van regie en de bijdrage die regie kan hebben aan duurzaam gebruik van de ondergrond. Hoofdstuk 7 bevat een synthese van het voorafgaande en aanbevelingen van de werkgroep.

2 Benutten van de ondergrond

Dit hoofdstuk gaat over de kansen die de ondergrond biedt. Eerst wordt het veld geschetst waarin zich het gebruik van de ondergrond afspeelt. De diepte waarop het gebruik zich bij benadering afspeelt, is hierbij als ordeningsprincipe gebruikt. Vervolgens wordt een aantal praktijkvoorbeelden besproken waarin technisch-maakbare gebruiksmogelijkheden van de ondergrond centraal staan. Ook deze zijn geordend naar de diepte waarop het gebruik zich afspeelt. Uit de praktijkvoorbeelden destilleert de werkgroep essentiële elementen voor een duurzamer gebruik van de ondergrond die in verdere hoofdstukken worden besproken.

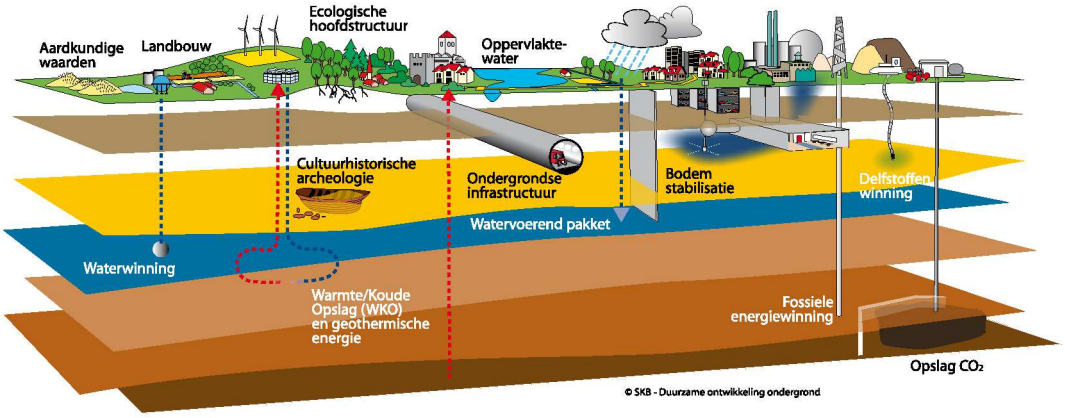
Gebruik van de ondergrond, van toplaag tot diepe ondergrond

Taaltechnisch begint de ondergrond aan het maaiveld en reikt in theorie tot aan de kern van de aarde. In Nederland is bodem beleidsmatig gedefinieerd als het vaste deel van de aarde met de zich daarin bevindende vloeibare en gasvormige bestanddelen en organismen (Artikel 1, Wet bodembescherming). Ondergrond is in die zin hetzelfde als bodem. De diversiteit van eigenschappen van de ondergrond en de processen die zich daarin afspelen, is groot. De diversiteit in onder meer opbouw (en te creëren ruimte), permeabiliteit, aanwezigheid van grondwater, organismen, mineralen, zouten en andere stoffen maakt de ondergrond geschikt voor uiteenlopende vormen van gebruik. Om die reden is er beleidsmatig behoefte om de ondergrond naar diepte in te delen.

De diverse kansen die de ondergrond in Nederland biedt, worden in vogelvlucht geschetst van toplaag tot diepe ondergrond. Op basis van nut en bruikbaarheid van de ondergrond voor verschillende technische gebruiksmogelijkheden is gekozen voor een opdeling in vijf lagen. Hierbij moet benadrukt worden dat de aangegeven grenzen geen harde grenzen zijn, maar een orde grootte van de diepteligging aangeven van de benutte lagen. De werkelijke grenzen worden bepaald door aanwezigheid van chemische, fysische en geologische eigenschappen en regionale verschillen.

Toplaag (0 tot 1,5 m-mv)

De laag van maaiveld tot circa anderhalve meter diepte is het deel wat het meest direct onder invloed staat van klimaat, mens, plant en dier. Deze toplaag van de bodem biedt veel natuurlijke diensten. Door de structuur van deze laag en de processen die zich erin afspelen groeit er vegetatie op, worden voedingsstoffen gerecycled, bouwt zich een stabiele fractie organische stof op, wordt water en gas gereguleerd en worden stoffen geadsorbeerd, gefilterd of afgebroken. Deze laag biedt een habitat voor talloze soorten organismen, zoals bacteriën, schimmels, planten, algen, insecten, arthropoden en kleine zoogdieren. De activiteiten van deze organismen dragen weer bij aan de structuur en processen in de bodem. Mensen benutten deze processen voor bijvoorbeeld voedselproductie, biomassaproductie, groen, natuurontwikkeling en water- en temperatuurregulatie in de stedelijke leefomgeving.



Figuur 1. Verschillende vormen van gebruik van de ondergrond (bron: SKB).

Een aanzienlijk deel van de Nederlandse toplaag is bebouwd en voorzien van infrastructuur die voor een gedeelte ook in de toplaag ligt. Kelders en fundering van gebouwen, ondergrondse kabels en leidingen en alle verticale structuren voor dieper gelegen gebruik van de ondergrond lopen door de toplaag. Historische bodemverontreiniging komt vaak voor in de toplaag.

Contactlaag (1,5 tot 50 m-mv)

Het bovenste deel van de ondiepe ondergrond wordt ook wel contactlaag (provincie Drenthe, 2010) of geotop (www.dinoloket.nl) genoemd. In deze laag zijn anthropogene invloeden of infrastructuur het meest terug te vinden. In de eerste paar meters is de kans op archeologische vondsten groot. Tot op een diepte van 10 meter liggen transportleidingen voor gas, water en riolering en de eerste hoogspanningsleidingen worden hierin aangelegd (www.randstad380kv.nl). Ook meerlaagse bouwwerken in de ondergrond zijn meestal tot een diepte van circa 10 meter te vinden. 'Vrijliggende' ondergrondse bouwwerken zoals geboorde tunnels en buisleidingen van bodemwarmtewisselaars (gesloten WKO-systemen) treft men in deze laag aan, maar gaan ook dieper. Infrastructuur en bouwwerken gebruiken de fysieke ruimte en ondersteuning van de ondergrond. Bodemwarmtewisselaars maken gebruik van de isolerende werking van de bodem (geringe warmtegeleidingscoëfficiënt van grond en de grote warmte-capaciteit van grondwater) en de relatief gunstige temperatuur om mee te koelen of te verwarmen.

Het spreekt voor zich dat het gebruik van de ondergrond invloed heeft op de eigenschappen van de ondergrond zelf.

Grondstoffen als klei, zand, grind en kalksteen worden ontgraven tot op een diepte van circa 50 m-mv met incidenteel dieptes tot 80 m-mv. De door ontgraving ontstane 'put' kan geheel of gedeeltelijk wordt gedempt en heringericht voor bijvoorbeeld recreatiedoeleinden of natuurontwikkeling.

Het grondwater in deze laag wordt gebruikt voor opslag van warmte en koude (open WKO-systemen), opslag van hemelwater, onttrekking van grondwater voor industriële, landbouwkundige of drinkwaterdoeleinden. Het grondwater in deze laag kan verontreinigd zijn vanuit diffuse of lokale bodemverontreinigingen-bronnen.

Ondiepe ondergrond (50 tot 250 m-mv)

Tot op een diepe van 100 meter kan men soms nog bodemwarmtewisselaars van gesloten WKO systemen aantreffen. Uit de ondiepe ondergrond wordt vaak grondwater gewonnen ten behoeve van drinkwaterbereiding en als proceswater voor de industrie. De aquifers op deze diepte worden voor warmte- en koudeopslag met behulp van open WKO-systemen (tot 200 m-mv) gebruikt, voor het lozen van brijn en voor de opslag van regenwater. Grondwaterverontreiniging komt veel minder voor in dit diepte-interval en is dan voornamelijk geassocieerd met zaklagen (DNAPL's) die aanzienlijke diepten hebben weten te bereiken in voornamelijk zandige ondergrond. De meeste vormen van gebruik hier zijn slecht te combineren en dienen op afstand van elkaar plaats te vinden.

Matig diepe ondergrond (250 tot 1000 m-mv)

In de vorige eeuw en daarvoor werd in deze laag vooral in Limburg steenkool gewonnen. Op sommige locaties relatief ondiep (enkele tientallen meters). De winning is in de 70er jaren gestaakt vanwege goedkoper aardgas. Intussen komt het voorheen verlaagde grondwater weer omhoog. Er vindt oriënterend onderzoek plaats naar mogelijkheden om nog aanwezige steenkoollagen met geavanceerde methoden (vergassing) te winnen. In deze ondergrondlaag zijn nauwelijks andere vormen van gebruik te vinden. Er zijn doorgaande infrastructuren aanwezig voor winningen uit de diepe ondergrond en incidenteel zijn er andere gebruiksvormen te vinden zoals zoutwinning en gaswinning.
In Noordoost Nederland zijn lokaal zoutkoepels aanwezig waaruit zout gewonnen wordt. Na de zoutwinning kunnen deze koepels potentieel geschikt worden gemaakt voor de opslag van bijvoorbeeld afvalstoffen. Vanaf een diepte van 600 m-mv wordt incidenteel gas gewonnen. De grote zout- en gaswinningen in Nederland liggen echter in de diepe ondergrond.
De Boomse klei ligt in grote delen van Nederland in dit matig diepe traject en wordt als optie beschouwd voor eindberging van (hoog) radioactief afval. Eerste veronderstelling hierbij is dat het kleipakket ten minste 100 meter dik is en uiteraard slecht doorlatend. In Zeeland ligt deze klei relatief ondiep (ca. 50 meter diep).

Diepe ondergrond (1000 m-mv en dieper)

De diepe ondergrond levert grondstoffen en energie. Uit de diepe ondergrond wordt zout, aardgas, olie en geothermische aardwarmte (1500 tot 3000 m-mv) gewonnen. Er zijn verschillende andere voorkomens van gas zoals schaliegas[2]. Verder wordt de diepe ondergrond gebruikt voor buffering van aardgas en zijn er plannen voor opslag van CO_2.

2 *Schaliegas is aardgas dat opgesloten zit in kleisteenlagen (schalies).*

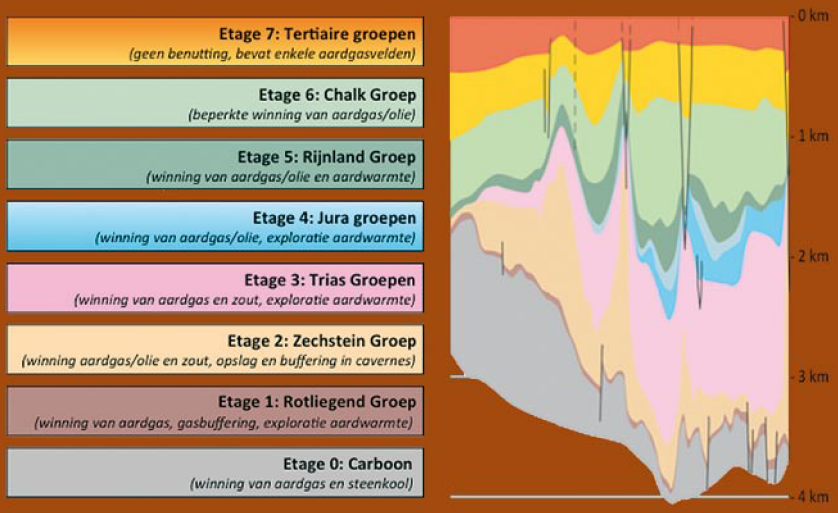
Effecten van gebruik

Het spreekt voor zich dat het gebruik van de verschillende lagen van de ondergrond invloed heeft op de eigenschappen van de ondergrond zelf. Meestal zijn dat de gewenste effecten, zoals temperatuurverandering bij WKO. Soms zijn er ongewenste effecten bij ondergronds gebruik, zoals interferentie met een ander gebruik, verspreiding van verontreinigende stoffen, verstoring van grondwaterlagen door menging van lagen van verschillende kwaliteiten, natuurlijke klink, geïnduceerde bodemdaling en verzilting.

In het rapport 'Gebruik van de ondergrond, ingrediënten voor een afweging' *(Westerhof* et al., *2009)* zijn voor CO_2-opslag, gasopslag, geothermie, WKO, waterinfiltratie en –berging, grondwateronttrekking, winning diepe delfstoffen en ondergronds bouwen nut, eisen aan de ondergrond, risico's en effecten, ruimteclaim, ruimtelijke - en tijdschaal geïnventariseerd.

Gebruik van de ondergrond, ingedeeld naar geologische eenheden

Het ministerie van IenM bereidt een Structuurvisie Ondergrond voor. Ten behoeve van de communicatie over de in ontwikkeling zijnde structuurvisie hanteert TNO een indeling van de ondergrond in etages die is gebaseerd op de geologische hoofdeenheden. Per geologische eenheid cq etage staan de thans bestaande en geplande gebruiksvormen van de ondergrond aangegeven. De gebruiksvormen zijn op hoofdniveau onderverdeeld in 1) winning van stoffen en energie, 2) permanente opslag van stoffen en 3) tijdelijke opslag van stoffen en energie (buffering). De aanwezigheid, diepteligging, dikte en samenstelling van de verschillende eenheden verschilt per regio in Nederland en daarmee ook de geschiktheid voor bepaalde activiteiten.



Figuur 2. Gebruik van de ondergrond ingedeeld naar geologische eenheden (Bron: TNO).

Praktijkvoorbeelden

Hieronder wordt een aantal praktijkvoorbeelden van gebruik van de ondergrond gepresenteerd. Voor zover mogelijk worden daarbij achtereenvolgens besproken: het nut van het gebruik (maatschappelijk belang), de specifieke kenmerken, problemen en oplossingen en de lessen die daaruit geleerd kunnen worden. De praktijkvoorbeelden zijn vernoemd naar het type ondergronds gebruik en gerangschikt naar de diepte waarop het gebruik zich voordoet.

Ruimtegebruik & ondergronds bouwen[3]

Een projectontwikkelaar wil op een stuk grond naast het gebouw van Panorama Mesdag (de rotonde), een rijksmonumentaal pand en tevens Unesco cultureel erfgoed, een parkeergarage bouwen. De parkeergarage is voor Hilton hotels een noodzakelijke faciliteit voor een nog te bouwen hotel naast Panorama Mesdag. De bouw van de parkeergarage zal de zogenoemde Rotonde van Panorama Mesdag (zie figuur 1) beïnvloeden door grondverplaatsingen. De vraag is hoeveel verplaatsing zal optreden. Uit bodemonderzoek blijkt ook dat oude funderingen deels een obstakel vormen voor de parkeergarage. Bovendien geldt dat de aanleg van de nieuwe parkeergarage de mogelijkheden van de buren beperkt om later nog ondergrondse bouwactiviteiten te kunnen ondernemen, omdat hun beoogde werkzaamheden de nu nieuwe, dan bestaande parkeergarage weer zullen beïnvloeden.

Afgesproken wordt dat Panorama Mesdag en de andere belendende gebouwen nauwkeurig zullen worden gemonitord bij de bouw van parkeergarage. Er rijzen vragen: Wie toetst? Wie controleert? Dit alles kost geld ... maar wie betaalt dat? Panorama Mesdag vervormt, al bij gedeeltelijke uitvoering en meer dan afgesproken, tijdens de aanleg van de palenwand van de parkeergarage. Er rijzen wederom vragen: Hoe komt dit? Was het te verwachten? Wie draait op voor de schade? Er worden noodmaatregelen getroffen, onder andere het afstutten van het Panorama Mesdag op de palenwand. Hierbij worden echter de stutten van de wand van de parkeergarage tegen het Panorama Mesdag en op terrein van Panorama Mesdag geplaatst. Weghalen kan vanaf dat moment ook niet meer zomaar. Belangrijke vragen worden dan: Waar liggen de verantwoordelijkheden voor ontwerp en uitvoering? Wie toetst op wat? De bij de diverse onderdelen betrokken partijen zijn Bouw- en Woningtoezicht van de gemeente, het Rijk, Rijksdienst voor de Monumentenzorg, provincie, waterschap, aannemer(s), projectontwikkelaar, bouwdirectie etc. Wat er mist is een centrale regie.

3 *Informatie geleverd door werkgroeplid Almer van der Stoel.*

Figuur 3. Rotonde Panorama Mesdag, compensation grouting equipement staat voor de rotonde (foto Almer van der Stoel).

Nadat de vervorming is geconstateerd en noodmaatregelen zijn getroffen, volgt de vraag welke vervorming nog te verwachten is. Daarbij is een belangrijke vraag wat de huidige kwaliteit van het gebouw en de fundering is en of de bouwer van de parkeergarage van het slechtste moet uitgaan. De partijen willen en moeten verder. Maar welke extra maatregelen moeten worden genomen en wie betaalt daarvoor? De oplossingen kunnen verschillen in kwaliteit tussen net genoeg voor het moment en robuust voor tot in lengte van dagen. Uiteraard met verschillend prijskaartjes. Er zijn ook allerlei financiële consequenties bijvoorbeeld ten aanzien van onderhoud. Ondertussen ontstaan hoge stilstandkosten, maar geen van de partijen wil aansprakelijkheid erkennen, daarmee het risico lopend dat die kosten voor hun rekening komen.

Vervolgens worden vanaf augustus 2010 *compensation grouting* werkzaamheden verricht aan de rotonde van Panorama Mesdag. Daarmee kunnen in ieder geval de ontstane verplaatsingen door de aanleg van de parkeergarage deels

worden teniet gedaan. Hieraan voorafgaand hebben overigens wel eerst structurele herstelwerkzaamheden aan de rotonde moeten plaatsvinden. Na afronding van deze fase kunnen hotel- en parkeergaragebouwers ook van het *compensation grouting* systeem gebruik maken om eventuele zettingen aan de rotonde van Panorama Mesdag te compenseren.

Uit dit praktijkvoorbeeld kunnen de volgende lessen geleerd worden:

- Dat de ondergrond en bestaande gebouwen ter plaatse grondig onderzocht moeten zijn om risico's in te kunnen schatten.
- Dat het schatten van de risico's alleen niet voldoende is. Er moeten afspraken zijn over wat te doen als bepaalde grenswaarden worden overschreden en wie verantwoordelijk en aansprakelijk is voor wat. Een centrale regie lijkt daarbij onontbeerlijk.
- Dat er gecommuniceerd moet worden over en bij voorkeur rekening gehouden moet worden met de consequenties van het ondergrondse gebruik voor toekomstig gebruik door anderen.

Figuur 4. Bij onderhoud van het watersysteem en bij gebiedsinrichting komt veel bagger en grond vrij (foto Jasper Griffioen).

Grondverzet & verondiepen plassen[4]

In Nederland zijn enkele honderden diepe plassen die meestal zijn ontstaan door winning van zand, klei of grind. Voor een aantal van deze plassen zijn plannen om deze opnieuw in te richten om zo de natuurwaarde of recreatieve waarde van de plas en de omgeving te veranderen. Voor het herinrichten van zulke plassen is veel grond en baggerspecie nodig. Bij het onderhoud van het Nederlandse watersysteem en bij gebiedsinrichting komt veel bagger en grond vrij. In het Besluit bodemkwaliteit (Bbk) dat in 2008 in werking is getreden, wordt de mogelijkheid geboden voor hergebruik van lichtverontreinigde grond en bagger als vulmateriaal bij het verondiepen van diepe plassen naast schone grond en bagger. Het beheer van te verondiepen plassen biedt een interessante casus met betrekking tot duurzaam gebruik van onze omgeving. Ten eerste was er maatschappelijke discussie ontstaan over nut en noodzaak tot verondiepen naar aanleiding van de inwerkingtreding van het Bbk. Ten tweede was er wetenschappelijke onduidelijkheid over de risico's voor het grondwater (vooral na het verondiepen) en het oppervlaktewater (vooral tijdens het verondiepen) door uitloging van verontreinigende of eutrofiërende stoffen uit het vulmateriaal. Ten derde was er onduidelijkheid over de regie als gevolg van de inwerkingtreding van het Bbk.

De maatschappelijke commotie in combinatie met de wetenschappelijke kritiek en onzekerheid over de regie leidde in maart 2009 tot het instellen van een deskundigencommissie door de toenmalige minister van VROM. De commissie heeft in juni 2009 advies (Deskundigencommissie zandwinputten, 2009) uitgebracht en de rijksoverheid is beleidsmatig verder gegaan met het advies. Een handreiking (Werkgroep van Implementatieteam Besluit bodemkwaliteit, 2010) over het duurzaam inrichten van diepe plassen is opgesteld en is juridisch verankerd in een circulaire (VROM, 2010b). In het navolgende wordt stilgestaan bij de situatie van het verondiepen van geïsoleerde diepe plassen en het omgaan met risico's van uitloging van aerobe grond onder anaerobe condities.

4 *Informatie geleverd door werkgroeplid Jasper Griffioen.*

Figuur 5. Het rapport van de Deskundigencommissie zandwinputten (bron: DHV).

Er was (en is) kritiek of het hergebruik van grond of bagger wel nuttig is. Partijen hechten grote waarde aan de recreatieve functie van diepe plassen voor bijvoorbeeld zwemwater of sportvisserij. Andere partijen zijn van mening dat diepe plassen ecologisch van weinig waarde zijn en het verondiepen van plassen tot waardevollere natuur leidt. Ook wordt enerzijds gesteld dat de taluds van diepe plassen gevaarlijk steil zijn en zo een risico vormen voor vooral spelende kinderen en anderzijds de steile taluds geschikte broedplaatsen zijn voor vogels zoals de zwaluw. De maatschappelijke waardering voor het nut van het verondiepen van diepe plassen wordt tegenstrijdig beoordeeld. Thans is afgesproken dat een inrichtingsplan moet worden opgesteld voor het verondiepen van diepe plassen en dat het nuttig toepassen van (verontreinigde) grond of bagger expliciet moet worden gemotiveerd vooral met betrekking tot de natuurfunctie van de plas. Op deze planvorming is publieke inspraak mogelijk.

Technisch-inhoudelijk was geconstateerd dat de uitloogtoetswaarden in het Bbk voor grootschalige toepassingen onder water onvoldoende waarborg bieden voor uitloging van stoffen onder de maximaal gestelde emissiewaarden. Met name het veronderstelde partitiemodel tussen poriewater en bagger is onvoldoende onderbouwd. Bovendien is onvoldoende zeker dat aerobe grond met maximale waarden voor klasse Industrie onder anaerobe condities onder water aan deze emissiewaarden voldoet. Het inbrengen van aerobe grond onder water roept biogeochemische reacties op die niet onderkend worden in de normstellingssystematiek. Er heerste dus onvoldoende zekerheid dat uitloging vanuit verontreinigde bagger of grond zal leiden tot een verwaarloosbare verontreiniging van het grondwater rondom vrijgelegen diepe plassen. De eerder gemaakte benadering was een variant van risicogebaseerd beheer zonder dat monitoren van het grondwater rondom te verondiepen diepe plassen verplicht was gesteld.

Om dit op te lossen is het voorzorgsprincipe gebruikt, door te stellen dat grond klasse Industrie en bagger klasse B vooralsnog niet mag toegepast worden voor het verondiepen van diepe plassen. Een uitzondering hierop is het gebruik van gebiedseigen baggerspecie klasse B in niet-vrijliggende plassen die niet in de nabijheid van een binnendijks kwetsbaar object liggen. Grond klasse Industrie of bagger klasse B kunnen toegepast worden mits middels locatiespecifiek onderzoek wordt aangetoond dat de bijbehorende waterconcentraties onder Lokale Maximale Waarden ter bescherming van oppervlaktewater en grondwater blijven. Additioneel onderzoek zal worden verricht om te bepalen of en hoe op duurzame wijze aerobe grond klasse Industrie onder anaerobe condities onder water nuttig toegepast kan worden.

Voor het hergebruik van met arseen verontreinigde grond of bagger is een strengere uitzondering gemaakt onder het generieke kader voor oppervlaktewaterlichamen die niet in het beheer van het Rijk zijn. Partijen droge (aerobe) bagger en grond van bodemkwaliteitsklasse A, B of Wonen, mogen niet worden toegepast indien een arseengehalte boven de achtergrondwaarde uit het Bbk wordt aangetoond. Partijen natte (anaerobe) baggerspecie van klasse B, mogen niet worden toegepast indien een arseengehalte boven de maximale waarde bodemkwaliteitsklasse A wordt aangetoond. Arseen is namelijk het zware metaal dat de grootste milieuhygiënische risico's geeft doordat enerzijds de partitie tussen grond of bagger en poriewater moeilijk te beschrijven valt en anderzijds arseen het meest mobiel is bij het toepassen van aerobe grond onder anaerobe condities onder water. Het voorzorgsprincipe is hier dus strenger ingevuld dan voor de andere zware metalen zoals koper of zink wegens de grotere potentiële risico's.

Maatschappelijk was er kritiek dat het verondiepen van diepe plassen zich onttrok aan de democratische besluitvorming: het initiatief lag bij grondbanken en eigenaren van zandwinputten, die konden volstaan met een verplichte melding van de voorgenomen werkzaamheden bij de rijksoverheid. De aansprakelijkheid voor eventuele milieuschade was niet bestuurlijk vastgelegd. Hiervoor is nu geregeld dat de regionale overheid de taak heeft om een prioritering op te stellen welke plassen in hun beheergebied in aanmerking komen voor het verondiepen en een limiet wordt gesteld aan de termijn waarin de werkzaamheden kunnen plaatsvinden om langdurig overlast voor omwonenden te beperken. De verantwoordelijkheid voor het beheer van de toepassing ligt bij de eigenaar van de locatie. In het inrichtingsplan moet eenduidig worden aangegeven wie verantwoordelijk is voor het realiseren van de doelstellingen en wie verantwoordelijk is voor het beheer van de herinrichting. Verder dient in het inrichtingsplan duidelijk te worden aangegeven hoe de overdracht na afronding van de herinrichting plaatsvindt.

Lessen uit praktijkvoorbeeld natuurontwikkeling diepe plassen:

- Dat consensus en goede communicatie over nut en noodzaak van activiteiten essentieel zijn bij gebruik van de ondergrond.
- Dat een herkenbare democratische besluitvorming geregeld moet zijn.
- Dat aansprakelijkheid geregeld moet zijn.
- Dat het voorzorgsprincipe een belangrijke rol speelt bij het incalculeren van onzekerheden.

Saneren van de bodem[5]

Veel locaties in Nederland zijn verontreinigd met milieuvreemde verbindingen. Afhankelijk van de aard en mate van de verontreiniging en de bestemming van de locatie moet de locatie gesaneerd worden. Er zijn verschillende saneringstechnieken mogelijk. Biologisch sanering (bioremediatie) heeft een aantal voordelen ten opzichte van het verwijderen van de grond of chemisch-fysische reiniging ter plekke. Veel organische verontreinigingen accumuleren in zuurstofloze delen van de bodem. Dit heeft belangrijke consequenties voor de afbreekbaarheid. Sommige milieuverontreinigingen worden beter onder zuurstofloze condi-

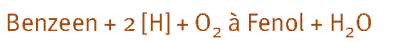
Het concept lijkt elegant, maar er zijn onzekerheden die meegenomen moeten worden.

ties omgezet. Voorbeelden daarvan zijn hoger gechloreerde aromatische en alifatische verbindingen zoals hexachloorbenzeen en tetrachloorethyleen. Andere verbindingen zijn net heel slecht afbreekbaar onder zuurstofloze condities. Voorbeelden daarvan zijn aromatische en alifatische koolwaterstoffen. Koolwaterstoffen zijn belangrijke componenten van olie-achtige vloeistoffen zoals benzine of diesel.

Benzeen is een verbinding die onder zuurstofloze condities zeer moeilijk afbreekbaar is. In aanwezigheid van zuurstof kunnen aerobe bacteriën deze verbinding echter zeer goed afbreken. Deze aerobe bacteriën gebruiken oxygenases voor de afbraak van benzeen. Sleutelenzymen zijn benzeendioxygenase en benzeenmonoxygenase.

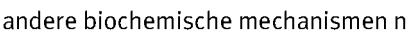
5 *Informatie geleverd door werkgroeplid Fons Stams.*

Bij het dioxygenase worden beide zuurstofatomen aan de ring gebonden en bij het monoxygenase maar één van de atomen, wat tot de vorming van respectievelijk catechol ($C_6H_4(OH)_2$) en fenol (C_6H_5OH) leidt:

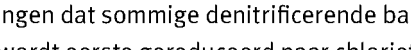


Onder zuurstofloze condities kunnen dergelijke enzymsystemen niet werken, en zouden andere biochemische mechanismen nodig zijn.

Echter, er zijn micro-organismen die in staat zijn om zelf moleculaire zuurstof te maken. Dit is het geval met chloraat-reducerende bacteriën en er zijn sterke aanwijzingen dat sommige denitrificerende bacteriën dat ook kunnen. Chloraat (ClO_3-) wordt eerste gereduceerd naar chloriet (ClO_2^-). Chloriet wordt vervolgens omgezet naar chloride, waarbij zuurstof vrij komt:



Het karakteristieke enzym dat deze omzetting katalyseeert is chlorietdismutase. Chloraatreducerende bacteriën zouden in staat kunnen zijn om benzeen met chloraat af te breken. Uit onderzoek in het laboratorium blijkt dit inderdaad het geval te zijn. Dechloromonas aromatica en de recentelijk bij het laboratorium voor Microbiologie van Wageningen Universiteit geïsoleerde Alicycliphilus denitrificans kunnen zonder toevoeging van zuurstof groeien met benzeen en chloraat. Dergelijke bacteriën zouden derhalve toegepast kunnen worden om locaties die verontreinigd zijn met benzeen en andere aromaten te reinigen. Dit wordt op het ogenblik verder onderzocht. Het proces levert chloride en CO_2 op:



Het concept lijkt elegant, maar er zijn onzekerheden die meegenomen moeten worden:
Ten eerste is het niet duidelijk of de bacteriën die in het laboratorium gekweekt worden in de bodem wel actief zijn. De groeicondities in de bodem (nutriënten en temperatuur) zijn niet optimaal en er kunnen stoffen in de bodem aanwezig zijn die de chloraat-reducerende bacteriën in hun groei remmen. Langzame groei van de bacteriën en vertraagde omzetting van benzeen hoeven geen probleem te zijn, maar het is wel nodig te weten op welke tijdschaal volledige afbraak bewerkstelligd kan zijn.

Ten tweede zijn er behalve benzeen ook andere organische en anorganische verbindingen in de bodem aanwezig welke door bacteriën voor de reductie van chloraat gebruikt kunnen worden. Deze verbindingen zouden zelfs preferent gebruikt worden, waardoor chloraat over-gedoseerd zou moeten worden, maar niet zodanig dat chloraat in de bodem achter blijft. Het is de vraag of precies te berekenen valt hoeveel chloraat er gedoseerd moet worden om benzeen en alle andere verbindingen te oxideren.

Ten derde is chloraat een verbinding die niet van nature voorkomt. Het is daarom de vraag of het wenselijk is de afbraak van een milieuverontreiniging te verbeteren door een andere milieuvreemde verbinding te introduceren. Er zijn enkele praktijkvoorbeelden waarbij dat wel gedaan is, onder andere de stimulering van de afbraak van chloorkoolwaterstoffen door toevoeging van fenol of methanol. Een risicoanalyse voor zowel benzeen en chloraat lijkt noodzakelijk. Niets doen lijkt geen optie omdat benzeen een zeer toxische verbinding is. Bij volledige omzetting van chloraat is chloride (keukenzout) het eindproduct, maar wanneer te veel chloraat toegevoegd wordt zal het in de bodem accumuleren. Er is op het ogenblik geen wetgeving op het gebied van de introductie van chloraat in de bodem. Toestemming kan worden verleend door het bevoegd gezag. In twee veldstudies is toestemming verleend, omdat daarbij het *push-pull* principe gehanteerd werd waarbij alle toegevoegde verbindingen weer teruggehaald worden.

Tot slot valt op dat de toevoeging van grote hoeveelheden nitraat wel mogelijk is. Nitraat is een belangrijke meststof en bij onvolledige reductie van nitraat wordt nitriet gevormd. Nitrietvorming is eveneens ongewenst.

Van dit praktijkvoorbeeld kan worden geleerd dat:

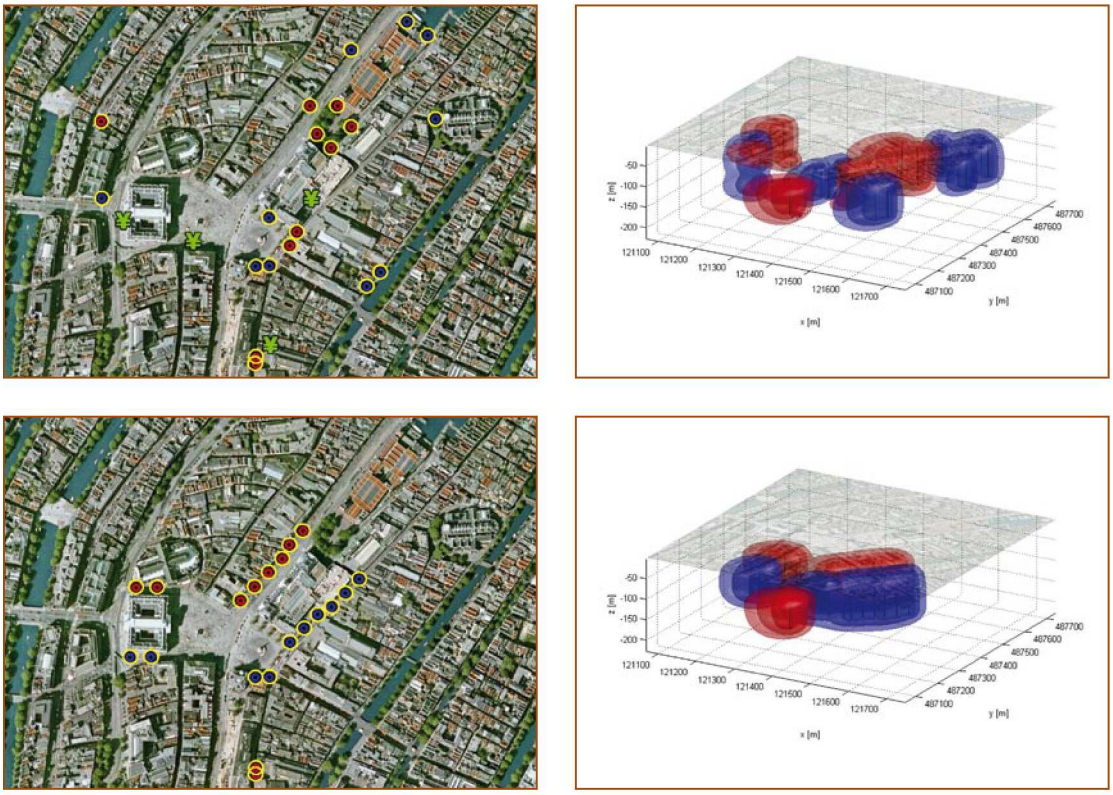
- Er nog veel onbekend is.
- De extrapolatie van labschaal (of tekentafel) naar veldsituaties met veel onzekerheden is omgeven.
- Innovatie gehinderd kan worden door wetgeving.
- Afweging van het middel en de kwaal noodzakelijk is.

Warmte- koudeopslag[6]

Rond de Dam in Amsterdam zijn 21 bedrijven geïnteresseerd in warmte- koudeopslag (WKO). De ondergrond onder de Dam is uitermate geschikt voor WKO. Er ligt een dik watervoerend pakket met een lage grondwaterstromingssnelheid (circa 10 m/jr). Er is echter geen ruimte om elk bedrijf afzonderlijk een WKO te kunnen vergunnen. Waternet is in samenwerking met Cofely een proces begonnen waarin de bedrijven gestimuleerd worden tot samenwerking met als doel dat meerdere bedrijven aan WKO kunnen deelnemen.

Door samenwerking kan de beschikbare capaciteit van het grondwater (in termen van de grootte en dikte van het watervoerend pakket) zo efficiënt mogelijk benut worden. Bovendien kan tussen de verschillende deelnemers de afgenomen warmte en koude worden uitgewisseld waardoor een betere energiebalans van het gehele systeem wordt verwacht.

6 *Informatie geleverd door werkgroeplid Theo Oltshoorn en hydrologiestudent Ruben Caljé.*



Figuur 6. Ontwerp warmte- koudeopslagsysteem in centrum Amsterdam bij individuele of geregisseerde aanpak (Ruben Caljé, 2010).

In dit project moet expliciet aandacht zijn voor de regierol. Volgens het advies van de Taskforce WKO (Taskforce WKO, 2009) zou het gebied aangewezen moeten worden als ambitiegebied. In een dergelijk gebied kan regie gevoerd worden op de WKO vergunningaanvragen. De eerste vraag die opkomt, is wie er regie moet voeren. De voorkeur gaat uit naar een partij die verstand heeft van grondwater(beheer). Bovendien is het belangrijk dat de partij geaccepteerd wordt door de verschillende actoren (provincie, gemeente, waterschap en afnemers). In Amsterdam heeft Waternet het voortouw genomen.

In een afstudeeronderzoek (Caljé, 2010) zijn de verschillende mogelijkheden voor WKO onder de Dam berekend. De verschillen zijn in kaart gebracht tussen de mogelijkheid dat de bedrijven eigenstandig WKO aanvragen (zelfordening van systemen, zonder regie) en de mogelijkheid van samenwerken in een systeem (het onder regie ordenen van koude en warme zones in banen, zie figuur 2). Eerst is de energievraag van de bedrijven in kaart gebracht. Hieruit bleek dat de energievraag van de bedrijven verschilt in warmte- en koudevraag en de energievraag tussen de bedrijven uitgebalanceerd kan worden. Door het systeem te ontwerpen met een dubbele ringleiding is die warmte en koude uitwisseling ook mogelijk. Door de samenwerking wordt de energie efficiënter benut dan zonder samenwerking. Ook de aanschaf en exploitatie zijn financieel aantrekkelijker dan bij afzonderlijke systemen.

Door samenwerking wordt de energie efficiënter benut.

Uit het onderzoek blijkt tevens dat wanneer WKO systemen aangelegd worden naar telkens de beste beschikbare plaats (zelfordening) de buislengte naar de bronnen kleiner is dan bij ordening onder regie. Bovendien blijkt er bij zelfordening een met samenwerking vergelijkbare clustering van bronnen te ontstaan. Geregisseerde ordening in bronbanen heeft als voordeel dat er meer systemen vergund kunnen worden en soms een hoger rendement behaald wordt. Opmerkelijk is wel dat in dit onderzoek geen significant hoger rendement is gevonden.
Uit het onderzoek blijkt dat samenwerking de efficiëntste manier is om een watervoerend pakket voor WKO te benutten, zowel vanuit energetisch als economisch oogpunt.

Uit dit praktijkvoorbeeld komt naar voren dat:

- Bij complexe projecten met veel deelnemers regie onontbeerlijk is.
- De wijze waarop er gestuurd/geordend moet worden situatieafhankelijk is.

CO_2-opslag[7]

Indien CO_2-opslag in Nederland een rol krijgt toebedeeld om een significante bijdrage te leveren aan het terugdringen van de uitstoot van broeikasgassen, zal dit een grootschalig gebruik van onze ondergrond vergen. Naar schatting zal zeker 50% van de nu bekende gasvelden tot CO_2-opslag moeten worden omgevormd. Verkennende studies zijn recent gepubliceerd voor het offshore gebied. Daarnaast bestaat mogelijk ook de behoefte om CO_2 op te gaan slaan in grote diepe zoutwatervoerende geologische formaties.

Op dit moment bestaat er nog geen 'markt' voor CO_2-opslag: de kosten voor vooral CO_2-afvang zijn nog te hoog, de CO_2-prijs nog te laag en te weinig stabiel om de benodigde hoge investeringen te rechtvaardigen. Ook bestaat er voor grote CO_2-bronnen als kolencentrales nog geen verplichting om CO_2 te gaan afvangen en opslaan. Daarbij komt dat er nog een traject van demonstratie en opschaling moet plaatsvinden van de gehele keten van afvang, transport en opslag, niet alleen om de techniek te bewijzen, maar (vooral) ook om de juridische en commerciële aspecten te testen.

Hoewel er dus op dit moment nog geen sprake kan zijn van een grootschalige match tussen vraag en aanbod van CO_2-opslag, zou toch een strategie gevoerd kunnen worden, waarin de opties voor toekomstige grootschalige CO_2-opslag worden geïdentificeerd en - waar opportuun - open gehouden tegen zo laag mogelijke kosten. De toenmalige ministers van VROM en EZ (thans IenM en EL&I) hebben daartoe in het najaar van 2009 een aanzet gegeven en aan Energie Beheer Nederland en Gasunie opgedragen om 'bouwstenen' aan te reiken voor het Nationale Masterplan voor CO_2-transport en –opslag.

Beseft moet worden, dat grootschalige CCS *(CO_2 Capture and Storage)* zich zal ontwikkelen als een internationale aangelegenheid, zowel voor wat betreft regelgeving (in de vorm van een Europese richtlijn) als voor transport en opslag. Het is dan de vraag, welke rol nationale wetgeving op het gebied van ruimtelijke ordening kan en moet spelen.

7 *Informatie aangeleverd door werkgroeplid Jaap Breunese.*

Rond het voorgenomen demonstratieproject Barendrecht is de beeldvorming ontstaan dat CO_2-opslag gevaarlijk is en dat het niet duidelijk is, waarom nu juist Barendrecht als locatie is uitgekozen. Dit ondanks het feit dat de *business case* vrij uitvoerig publiek is gepresenteerd en ook de procedure milieueffectrapportage (m.e.r.) succesvol is doorlopen. Overigens staat Nederland hierin niet alleen. Meerdere op land geprojecteerde demonstratieprojecten ondervinden soortgelijke weerstand bij de lokale bevolking en bestuurders. Feit is dat dergelijke beeldvorming een rol speelt bij de planning van nieuwe toepassingen in de ondergrond.

Een significante bijdrage van CO_2 opslag aan het terugdringen van de uitstoot van broeikasgassen, zal een grootschalig gebruik van onze ondergrond vergen.

In het MER (milieueffectrapport) is uitvoerig aandacht besteed aan de veiligheid. Op het niveau van de opslagvergunning en het opslagplan zal in detail moeten worden geregeld:

- veiligheidswaarborgen;
- monitoringprogramma;
- criteria voor overdracht van de opslag naar de overheid en aansprakelijkheden.

Naast een aantal inherente veiligheidsmaatregelen (druk in de opslag moet lager zijn dan de oorspronkelijke druk in het opslagveld) zal ook hier een vorm van protocol moeten worden overeengekomen. In het protocol verschaffen betrokkenen aan elkaar duidelijkheid over het monitoringsprogramma en de daarop te nemen maatregelen, mochten van tevoren vastgestelde actiewaarden dreigen te worden overschreden (volgens het principe Hand-aan-de-kraan, zie hoofdstuk 5).

Nog niet algemeen bekend is de praktijkervaring die de industrie al gedurende decennia heeft opgebouwd met betrekking tot het injecteren van CO_2 in de ondergrond. In de Verenigde Staten bestaan vele duizenden kilometers CO_2-pijpleiding en ca 15.000 CO_2-injectieputten op vele tientallen locaties, waar CO_2 wordt toegepast om extra olie te winnen (de zogenaamde Enhanced Oil Recovery, EOR). De olie-industrie heeft via EOR inmiddels netto ruim 650 Mt CO_2 in de ondergrond gebracht; dat is ongeveer gelijk aan de uitstoot van vier kolencentrales gedurende hun levensduur van 30 jaar. Op het Nederlandse continentale plat wordt sinds 2004 CO_2 geïnjecteerd in gasveld K12-B. Dit betreft een haalbaarheidsonderzoek van Gaz de France Production Nederland bv en TNO naar CO_2-opslag en verbeterde gaswinning. Het gas uit dit gasveld bevat een relatief hoog CO_2 gehalte (13 procent) dat voorheen werd afgeblazen. Sinds 2004 wordt er CO_2 geherinjecteerd in het reservoir op een diepte van circa 4000 meter. Het is dus niet zo dat CO_2-transport en -injectie technisch iets nieuws is.

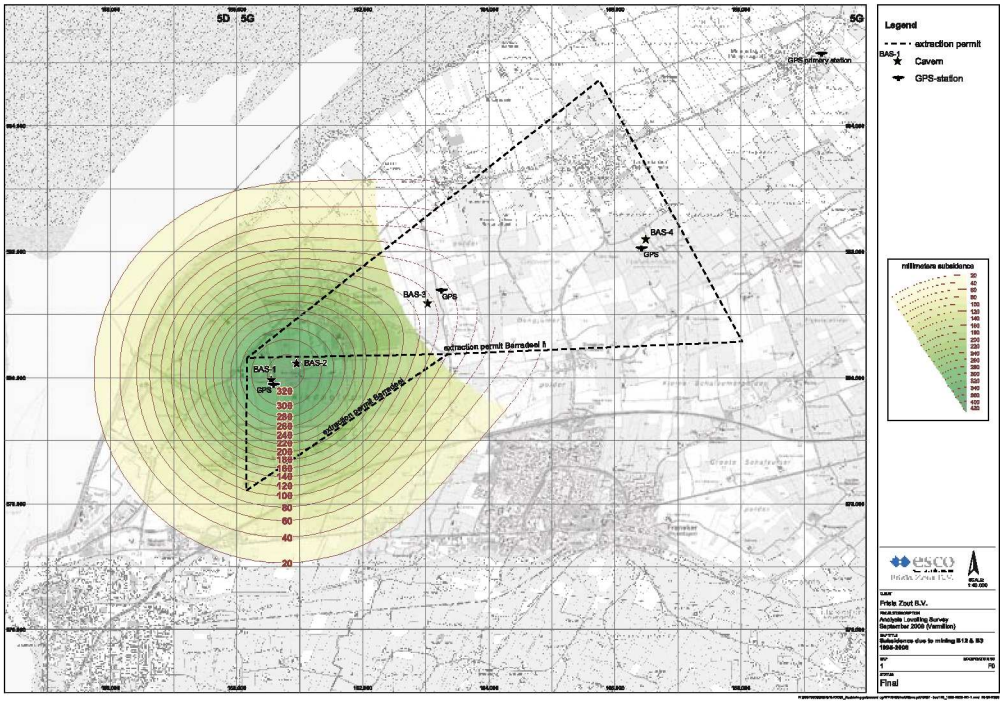
De lessen uit dit praktijkvoorbeeld zijn:

- Dat vraag en aanbod ruimtelijk goed gecombineerd moeten kunnen worden, zeker als een bepaald ondergronds gebruik technisch, juridisch en commercieel nog bewezen moet worden.
- Dat bij nieuwe toepassingen in de ondergrond beeldvorming en weerstand bij lokale bevolking en bestuur eerder een gegeven zijn dan een incident.
- Dat naast inherente veiligheidsmaatregelen en monitoren ook actiewaarden, maatregelen en verantwoordelijkheden moeten worden vastgelegd die bepalen wanneer wie er op welke wijze gaat ingrijpen.

Zoutwinning[8]

In Harlingen was de groothandel Frima Zout bv gevestigd. Dit bedrijf kocht zout in van Nederlandse producenten en verkocht dit door aan klanten in binnen- en buitenland. De ligging van dit bedrijf in een havengebied was geen toeval: transport per schip van grote hoeveelheden zout (ca. één miljoen ton per jaar) maakt een belangrijk deel uit van de totale vervoerscapaciteit naar afnemers. In de jaren 1990 kwam Frima tot de conclusie dat de doorverkoop van zout onvoldoende garanties bood voor de continuïteit van het bedrijf. Het bedrijf besloot daarom om haar 'eigen zout' te gaan winnen. En wat lag er meer voor de hand dan om dat zout zo dicht mogelijk bij de fabriek te gaan winnen? Deze strategie leidde tot de aanvraag van de concessie Barradeel, die werd verleend in 1991. De 'groothandel' werd omgetoverd in een fabriek die de te winnen pekel kon indampen tot commercieel verhandelbare hoeveelheden zout met een capaciteit van circa 1,2 miljoen ton per jaar. De productie van het 'eigen zout' begon in november 1995. Het bedrijf Frima Zout werd in 2000 overgenomen door Frisia Zout bv.

8 *Informatie aangeleverd door werkgroeplid Jaap Breunese.*



Figuur 7. Contourkaart bodemdalingskom najaar 2008 ten gevolge van zoutwinning Barradeel (bron: Frisia Zout bv.).

Hoewel voorafgaande aan de start van de zoutwinning vrijwel geen bodemdaling werd verwacht (in totaal 7 cm in het diepste punt over vele tientallen jaren), werd toch een jaarlijkse meting van de opgetreden hoogteverschillen op zogenaamde peilmerken gepland. Dit is een voorschrift uit de Mijnbouwwetgeving. Echter, binnen twee jaar na productiestart bleek uit de metingen, dat de bodemdaling circa 20 maal sneller verliep dan aanvankelijk was verondersteld. Met de kennis en gegevens van dat moment (1998) werd geconcludeerd dat de hoge temperatuur in de diepe Barradeel cavernes (bijna 100 graden Celsius) en de daarbij optredende kruip daar debet aan waren: dergelijke hoge temperaturen komen niet voor in de zoutmijnbouw in andere landen waar de eerste prognose voor Barradeel op was gebaseerd.

Hand-aan-de-kraan: ontwikkelingen op de voet volgen, het prognosemodel waar nodig bijstellen om de grenswaarde beheerst dicht te benaderen.

In overleg met de instanties die in het gebied verantwoordelijk zijn voor de dijkbewaking en de waterhuishouding, werd een limiet van 35 cm gesteld aan de bodemdaling in het diepste punt binnen het Barradeel gebied. Deze limiet bepaalde op zijn beurt de hoeveelheid steenzout die uit de beide cavernes gewonnen zou kunnen worden. Vanaf dat moment werd het zaak om de ontwikkeling van de bodemdaling op de voet te volgen en het prognosemodel waar nodig bij te stellen op basis van jaarlijkse nieuwe gegevens. In 2002 bleek, dat het in 1998 opgestelde prognosemodel een wat sterkere bodemdaling (ca 20 procent) voorspeld had dan door de metingen werd aangegeven. Dit was aanleiding om het prognosemodel bij te stellen, nu iets in neerwaartse richting (Breunese, 2003). In de jaren daarna heeft de bodemdaling zich goed volgens prognose gedragen en werd het mogelijk om de gestelde grenswaarde beheerst dicht te naderen (Frisia Zout, 2009).

De productie uit de eerste cavernes BAS-1 en -2 is inmiddels gestaakt, omdat de limiet van de bodemdaling in het diepste punt (35 cm) vrijwel is bereikt (zie figuur). Op dit moment draait de fabriek op de productie uit de cavernes BAS-3 en BAS-4 in het vergunninggebied Barradeel II. Maar ook de productie uit die cavernes is aan een dalingslimiet – en dus aan tijd – gebonden. Frisia Zout heeft daarom kort geleden het voornemen bekend gemaakt om nieuwe cavernes aan te leggen onder de Waddenzee voor de kust bij Harlingen. Op grond van de verkregen ervaringen mag worden geconcludeerd, dat ook de bodemdaling ten

gevolge van die eventuele nieuwe winning goed voorspelbaar zal zijn. Frisia heeft voor dit project een MER gepubliceerd (Arcadis, 2010). De vraag die nu voorligt is, of die voorgenomen nieuwe winning qua bodemdaling kan worden ingepast in de gebruiksruimte van het betreffende stuk Waddenzee, analoog aan de wijze van inpassing van de bodemdaling door gaswinning meer oostelijk in de Waddenzee bij Ameland.

Dit voorbeeld laat zien dat hoge eisen worden gesteld aan de voorspelbaarheid en beheersbaarheid van de bodemdaling. Geotechnisch gezien is aangetoond, dat het mechanisme achter de bodemdaling tijdig is onderkend, vooral dankzij adequaat monitoren van de daling en tijdige aanpassing van modellen daarop. Dit is een cruciale voorwaarde voor de beheersbaarheid van de bodemdaling. In zekere zin kan het Barradeel project worden gezien als een voorbeeld *avant la lettre* van het *Hand-aan-de-kraan* principe. Dit principe wordt sinds 2006 toegepast op de gaswinning van onder de Waddenzee, waar de beheersing van het tempo van de bodemdaling binnen veilige natuurgrenzen centraal staat.

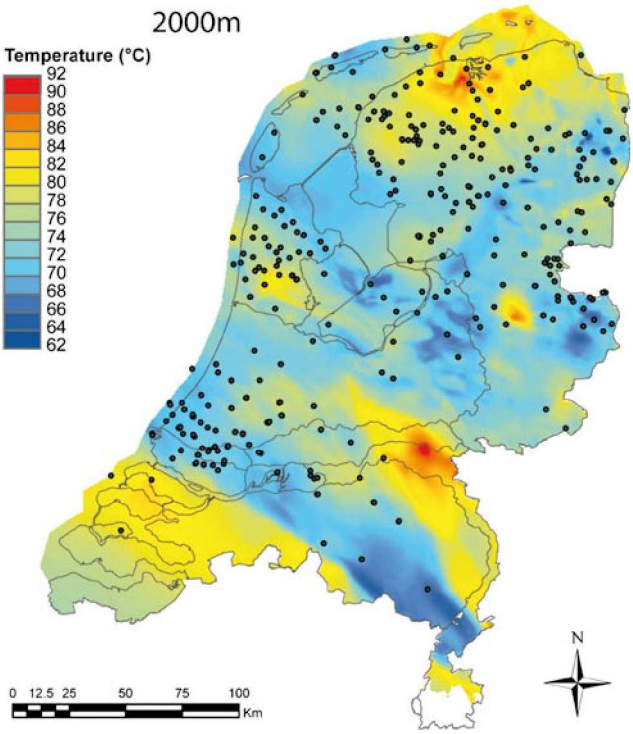
Wat kan er van dit praktijk voorbeeld geleerd worden?

- Dat de match tussen bovengrondse vraag en ondergronds aanbod noodzakelijk is.
- Dat er onvoorziene effecten kunnen optreden, in casu de snelheid van bodemdaling.
- Dat risico's beheerst kunnen worden via het stellen van grenswaarden aan de bodemdaling en het handhaven van die grenswaarden via een gesloten systeem van modelmatig voorspellen, monitoren en tijdig bijsturen op basis van verschillen tussen waarneming en verwachting.

Geothermie[9]

Geothermie of aardwarmte is een vorm van duurzame energie, die in Nederland goed kan worden geproduceerd door warm water van 45-120 °C op te pompen uit watervoerende aardlagen op 1,5 tot 4 km diepte. Het potentieel van geothermie lijkt voldoende significant om te dienen als onderdeel van een toekomstige duurzame energiehuishouding. Dat neemt niet weg, dat realisatie van geothermie staat of valt met investeringen in geothermische projecten. Pas dan wordt duidelijk, waar een goede en kosten-effectieve *match* tussen warmtevraag (gelokaliseerd aan de bovengrond) en aanbod van geothermische energie werkelijk mogelijk is.

9 *Informatie aangeleverd door werkgroeplid Jaap Breunese.*



Figuur 8. Temperatuurverdeling op 2000 m diepte in de Nederlandse ondergrond, gemodelleerd aan de hand van temperatuurmetingen in de weergegeven meetputten (bron: TNO).

Nederland is in diverse studies gekarakteriseerd naar gebieden met meer of mindere geschiktheid voor geothermie, geredeneerd vanuit de eigenschappen van de diepe ondergrond. Figuur 8 toont daarvan een voorbeeld, waaruit blijkt dat Zuid-Holland, de kop van Noord-Holland en Noord Nederland de meer geschikte gebieden zijn, althans op het aangegeven diepteniveau van 2 km. Merk op, dat geschiktheid niet samenvalt met de hoogste temperaturen in de diepe ondergrond: geologische geschiktheid wordt in minstens even belangrijke mate bepaald door de doorlatendheid ('permeabiliteit') van de geothermische reservoirs, een eigenschap, die minder goed voorspelbaar is dan de temperatuur.

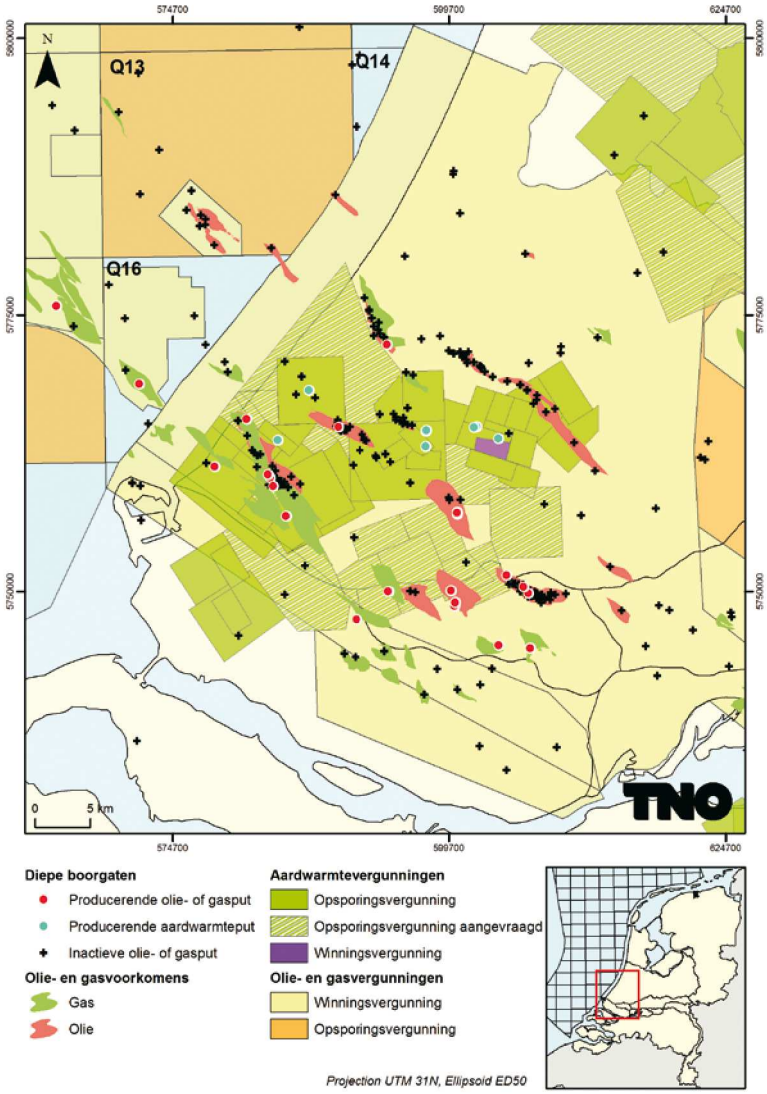
Aangevraagde gebieden vallen soms wel, maar in andere gevallen ook niet, samen met de geologische geschiktheid.

De aangevraagde gebieden vallen soms wel, maar in andere gevallen ook niet, samen met de geologische geschiktheid. Dit illustreert het dilemma: de vraag naar geothermische energie valt niet noodzakelijk samen met de beste plaatsen van aanbod. De haalbaarheid van projecten zal dan in meer detail onderzocht moeten worden.

Figuur 9 geeft een geografisch overzicht van het huidige gebruik van de diepe ondergrond (olie- en gaswinning) en de bestaande en geplande geothermie-projecten in de provincie Zuid-Holland. Ook de bestaande diepe boorgaten staan aangegeven. Dit voorbeeld toont, dat er een gerede kans op interferentie tussen projecten bestaat. Ook moeten de veiligheid en de juridische rechten worden geadresseerd. Zo kan bijvoorbeeld tijdens het boren naar een geothermisch reservoir bij toeval aardgas of aardolie worden aangetroffen. Aardgaswinning kan de druk in een aanliggend watervoerend pakket hebben verlaagd; winning van geothermische energie uit dat pakket zal dan naar verhouding meer pompenergie vergen. Om deze en ook andere vormen van ongewenste interferentie (technisch, commercieel, juridisch) te voorkomen moet een zekere vorm van regie worden uitgeoefend. Echter, tot nu toe worden aanvragen voor individuele projecten als zodanig in behandeling genomen en wordt in de vergunningvoorwaarden (ministerie EL&I op advies van Staatstoezicht op de Mijnen en TNO) geregeld, dat ongewenste effecten worden voorkomen.

Uit dit praktijkvoorbeeld kunnen de volgende lessen worden geleerd:

- Het belang van ruimtelijke match in vraag en aanbod is (geothermie nabij warmtevragers).
- Het belang van gebiedskennis van ondergrond en reeds aanwezige activiteiten.
- Het belang van regie.



Figuur 9. Overzicht van het huidige gebruik van de diepe ondergrond (olie- en gaswinning) en de bestaande en geplande geothermie-projecten in de provincie Zuid-Holland (bron: TNO).

Leren van het gebruik van de ondergrond

De kernelementen die uit de bovenstaande praktijkvoorbeelden ten aanzien van de technisch-wetenschappelijke kanten van een project gehaald kunnen worden zijn vooronderzoek, geschiktheid ondergrond, toepassing van theorie in de praktijk, risicoschatting, monitoren met grenswaarden, en te nemen maatregelen als het fout dreigt te gaan.

Als het gaat om de bestuurlijke kant van een project dan zijn de kernelementen afweging, ordening, voorzorg, afspraken, verantwoordelijkheden, aansprakelijkheid, regie en transparante procedures.

Belangrijke begrippen bij afwegen zijn vraag en aanbod, consensus en consequenties.

In alle gevallen is voordurende communicatie van groot belang om tot bewustwording te komen. Bewustwording is nodig om draagvlak te creëren.

Er valt dus een technisch spoor te onderscheiden waarin het gaat van vooronderzoek tot maatregelen om overschrijdingen van grenswaarden te voorkomen en een bestuurlijk spoor dat loopt van afwegen tot regie. Deze sporen zijn verstrengeld; bij de afweging zal de beheersbaarheid van technische risico's een rol spelen, verantwoordelijkheid en regie zijn van essentieel belang als er technisch iets fout kan gaan.

Al deze elementen vormen het speelveld waarin duurzaam gebruik van de ondergrond gerealiseerd moet worden. Om de vraag te beantwoorden welke elementen hiervan de belangrijkste zijn voor het realiseren van duurzaam gebruik, zal in het volgende hoofdstuk eerst worden ingegaan op wat er onder duurzaam gebruik van de ondergrond zou moeten worden verstaan.

3 Elementen voor het afwegen van duurzaamheid

In dit hoofdstuk verkent de werkgroep vanuit een technisch-wetenschappelijke invalshoek wat belangrijke elementen zijn in het realiseren van duurzaamheid bij gebruik van de ondergrond.

Duurzaamheid

De verschillende vormen van gebruik van de ondergrond die in hoofdstuk 2 besproken zijn, geven een beeld van de bijdrage van de ondergrond aan mens en maatschappij. Het benutten van de goederen en diensten van de ondergrond zijn van levensbelang voor de mens. Ieder gebruik van de ondergrond zal tot veranderingen van de ondergrond leiden. Deze zijn niet per se ongewenst. Soms zijn veranderingen gewenst als er andere (duurzaamheids)voordelen 'buiten de ondergrond' te behalen zijn. De ondergrond wordt steeds meer benut. Zowel de verschillende mogelijkheden van gebruik als het aantal gevallen van gebruik nemen toe. Door toenemende drukte in de ondergrond 'komt men elkaar vaker tegen'. In veel gevallen kan gebruik van de ondergrond samengaan omdat het bijvoorbeeld op verschillende dieptes plaatsvindt. Sommige vormen van gebruik gaan moeizaam samen, zoals WKO in een grondwaterbeschermingsgebied, of sluiten elkaar uit, zoals het opslaan van CO_2 òf aardgas in een enkel leeg gasveld.

Elementen

De werkgroep ziet voor de elementen van een afweging van duurzaamheid drie categorieën. Het gaat om elementen die ten eerste betrekking hebben op het gebruik zelf (kenmerken van de goederen, diensten, en de wijze waarop daarop gebruik van wordt gemaakt), ten tweede samenhangen met de maatschappelijke belangen die we toekennen aan het gebruik van de ondergrond en ten derde voortkomen uit juridische beginselen van het milieubeleid. Hoewel de elementen uit de genoemde categorieën verschillend van aard zijn, kunnen afwegingen op basis van deze drie categorieën elkaar (deels) overlappen. Het bestaan van verschillende categorieën verklaart waarom er verschillende afwegingen gemaakt kunnen worden, meestal samenhangend met achtergrond en voorkeuren van degenen die de afweging maken.

De werkgroep verstaat onder duurzaam gebruik van de ondergrond: gebruik van de ondergrond dat bijdraagt aan welzijn van mensen en welvaart van de maatschappij (nuttig gebruik), zonder dat er andere belangen onherstelbaar worden aangetast[10]. Daarnaast heeft duurzaam gebruik ook betrekking op het in stand houden van de verschillende gebruiksmogelijkheden voor een lange periode of voor gebruik op termijn. Met 'duurzaam' wordt in die zin ook bedoeld efficiënt gebruik, zorgvuldig gebruik en rekening houden met onderlinge beïnvloeding.

Om schaarste te voorkomen of uit te stellen moet de ondergrond duurzaam worden gebruikt.

10 *Het predicaat 'duurzaam' is geen absoluut gegeven. Een gebruik dat op een zeker moment en in een gegeven situatie als duurzaam wordt beoordeeld kan bijvoorbeeld door innovatie op een ander moment of in vergelijking met een ander gebruik in een andere situatie als minder duurzaam worden gezien.*

Eigenschappen van het gebruik: efficiëntie, tijdsduur, optimalisatie, schaarste

Binnen de omschrijving van duurzaam gebruik van de ondergrond is het van belang om onderscheid te maken in gebruik van goederen en gebruik van diensten van de ondergrond. Deze termen hebben betrekking op gebruik van de ondergrond dat respectievelijk eenmalig is en gebruik dat herhaald kan worden. 'Goederen' zijn producten zoals delfstoffen olie, aardgas, grind en zand maar ook schoon water en voedsel. Sommige goederen kunnen bij goed beheer voordurend worden aangevuld; bij andere goederen is er slechts sprake van verbruik en is de voorraad eindig. 'Diensten' zijn processen die plaatsvinden in de bodem waar mensen voordeel van hebben zoals waterregulatie, nutriëntencycli, gasuitwisseling, et cetera. De diensten dragen ook bij aan het produceren van goederen. Goederen en diensten samen vertegenwoordigen maatschappelijke belangen zoals drinkwatervoorraad, voedselzekerheid en energievoorziening.

Efficiënt

Goederen zoals delfstoffen zijn van groot nut voor de mens en hebben welvaart gebracht. De ondergrond is echter niet in staat de eenmaal gewonnen delfstoffen weer aan te maken op een voor mensen realistische tijdschaal. Ook de beschikbare ruimte in de ondergrond kan gezien worden als een goed. De voorraden[11] van veel goederen zijn eindig en deze gaan bij verbruik verloren voor toekomstige generaties. Bij duurzaam gebruik van de eindige goederen die de ondergrond biedt, dient de aandacht in de eerste plaats uit te gaan naar efficiënt gebruik, dus geen verspilling. De werkgroep vindt efficiënt gebruik van goederen en diensten van de ondergrond een onlosmakelijk onderdeel van duurzaam gebruik. De term 'efficiëntie' wordt gehanteerd vanuit zijn meest algemene definitie: het verkrijgen van het grootst mogelijke resultaat uit een bepaalde inspanning. In die zin heeft efficiëntie betrekking op bijvoorbeeld het rendement dat behaald wordt met WKO of de hoeveelheid gas die gewonnen wordt uit een gasveld. Om schaarste te voorkomen of uit te stellen moet de ondergrond duurzaam worden gebruikt. In die zin heeft efficiëntie ook betrekking op de mogelijkheid tot meervoudig (ruimte)gebruik of slimme combinaties van gebruik van de ondergrond en/of bovengrond. Ordening van gebruik in de ondergrond kan bijdragen aan efficiënt gebruik.

11 *Met 'voorraden' bedoelt de werkgroep dat gedeelte van de ondergrond dat een gewenste kwaliteit heeft en beschikbaar is om een bepaalde dienst te leveren (bijvoorbeeld drinkwaterwinning). Deze uitleg komt overeen met het begrip 'reserves' dat gebruikt wordt in de mijnbouw. 'Voorraden' of 'reserves' zijn dat deel van de 'resources' (natuurlijke hulpbronnen) waarvan voldoende is aangetoond (technisch, financieel, politiek) dat het gebruikt kan gaan worden. Het begrip 'resources' is breder dan voorraden en omvat alles dat in potentie gebruikt zou kunnen worden voor bijvoorbeeld energievoorziening.*

Tijdsduur

Bij het gebruik van diensten en hernieuwbare goederen blijft in principe zowel de ondergrond als de dienst intact. Denk hierbij bijvoorbeeld aan het gebruik van (porie)ruimte in de ondergrond voor de tijdelijke opslag (buffering) van bijvoorbeeld gas. Hoewel iedere dienst een (tijdelijke) reservering legt op een deel van de ondergrond, blijft de ondergrond ter plaatse bestaan en na beëindiging van het gebruik kan de ondergrond een andere, of nogmaals dezelfde dienst leveren. De voorraad aan potentieel te leveren diensten varieert dus wel in ruimte en in tijd. De mogelijkheid om een dienst blijvend te benutten, is een maat voor de duurzaamheid van het gebruik.

Optimalisatie

Een belangrijk inzicht is dat niet alle diensten overal en altijd geleverd kunnen worden. Er is variatie in ruimte en tijd. Dit kan het gevolg zijn van de eigenschappen van de ondergrond die een bepaalde dienst niet ondersteunen. Zo zijn bijvoorbeeld de geologische eigenschappen van de ondergrond niet overal zodanig dat er geothermie mogelijk is. Daarbij optimaliseren gebruikers bepaalde diensten, bijvoorbeeld voor het produceren van voedsel, wat ten koste kan gaan van andere diensten ter plaatse. Dit verschijnsel wordt in de literatuur als *trade off*[12] tussen (ecosysteem)diensten genoemd; diensten worden tegen elkaar uitgeruild. Dit kan zover gaan dat diensten verloren dreigen te gaan. Onderdeel van de duurzaamheidsbeoordeling van gebruik van diensten is de mate waarin ook andere diensten beschikbaar blijven voor gebruik. Het minimaliseren van de nadelige gevolgen van het gebruik voor de omgeving is dan ook van belang.

Schaarste

Naast het maatschappelijk belang geeft ook dreigende 'schaarste' richting of gewicht aan een duurzaamheidsafweging. Niet alles kan overal. Zo zijn de mogelijkheden voor bijvoorbeeld gasopslag of geothermie geologisch bepaald. Daardoor is er geen ruimtelijke flexibiliteit en moet schaarse ruimte gereserveerd worden voor dit type goederen of diensten. In een duurzaamheidsafweging zal benutting van schaarse mogelijkheden zwaarder wegen dan mogelijkheden die ook later of elders nog kunnen plaatsvinden. Evenzo wegen nadelige effecten en gevolgen op schaarse (milieu)kwaliteiten of ondergrondse en bovengrondse waarden (zoals archeologie of kwetsbare natuurgebieden) zwaarder dan effecten in gebieden waar deze waarden niet aanwezig zijn. Ordening van de ondergrond is daarmee naast een verdeling van gebruik in ruimte ook een verdeling van het gebruik in de tijd.

12 *Trade off is het inwisselen van het ene voordeel om een ander voordeel te behalen.*

Maatschappelijke belangen

Het woord 'duurzaam' in duurzaam gebruik van de ondergrond kan zowel betrekking hebben op de ondergrond als op de andere voordelen die met het gebruik behaald worden. Het gebruik kan als duurzaam worden beoordeeld ten aanzien van een bepaald aspect zoals energieverbruik of energieopbrengst, waterverbruik of herbruikbaarheid van grondstoffen, schadelijkheid van de afvalstoffen, et cetera. Zo wordt een spaarlamp als duurzaam beoordeeld ten opzichte van een gloeilamp voor wat betreft het aspect energieverbruik, terwijl een spaarlamp ten aanzien van het aspect afvalstoffen minder gunstig 'scoort' dan een gloeilamp. In dit voorbeeld wordt meer waarde gehecht aan het terugdringen van energieverbruik dan aan het weren van schadelijke afvalstoffen[13]. In een duurzaamheidsafweging speelt dus ook de waarde mee die aan de verschillende aspecten wordt toegekend (maatschappelijk belang). Deze waarden of maatschappelijke belangen zijn in de tijd aan verandering onderhevig; voldoende flexibiliteit moet worden ingebouwd.

Ordening van gebruik in de ondergrond kan bijdragen aan efficiënt gebruik.

Maatschappelijke belangen die in de beleidsvisie Duurzaam gebruik van de ondergrond in verband worden gebracht met duurzaam gebruik van de ondergrond zijn mobiliteit, energievoorziening, grondstoffen, klimaat, landbouw, water, veiligheid en landschap (Kamerstukken II, 2009/10, 32 123, nr. 67).
In beleid voor duurzaam gebruik van de ondergrond geven maatschappelijke belangen richting en gewicht aan verschillende vormen van gebruik van de ondergrond. Richting, doordat ontwikkelingen op het gebied van bijvoorbeeld WKO worden gestimuleerd en er daardoor minder aandacht wordt geschonken aan andere vormen van duurzame energievoorziening. Gewicht, omdat initiatieven die deze maatschappelijke belangen dienen, voorrang en voorkeur genieten boven andere vormen van gebruik van de ondergrond. De mate waarin het gebruik van de ondergrond bijdraagt aan een maatschappelijk belang kan worden gevat onder de noemer 'nut en noodzaak'. Door nut en noodzaak te bepalen voor wat betreft de bijdrage aan een maatschappelijk belang kunnen verschillende gebruiksvormen met elkaar vergeleken worden.

13 *Overigens komen deze schadelijke stoffen alleen in het milieu als de gebruiker de spaarlampen verkeerd afvoert. Spaarlampen moeten als chemisch afval worden behandeld. Uit onderzoek blijkt dat veel mensen spaarlampen bij het restafval weggooien (Hendriksen, 2009).*

Of er maatschappelijke belangen gediend worden, is niet het enige criterium. In een duurzaamheidsafweging zijn de 'effecten en gevolgen' van het gebruik van de ondergrond de tegenhanger van nut en noodzaak. Het behoud van een kwalitatief goede en bruikbare ondergrond is een publiek belang dat de overheid zou moeten behartigen. Vanuit die optiek moeten de negatieve effecten en gevolgen geminimaliseerd worden. Dit leidt tot het afwegen van nut en noodzaak tegen effect en gevolg. Omdat in de beleidsvisie Duurzaam gebruik ondergrond maatschappelijke belangen centraal staan, wordt dit aspect verder uitgewerkt in hoofdstuk 4.

Juridische beginselen

Het juridische kader voor gebruik van de ondergrond bevat abstracte beginselen uit het milieurecht die zowel vanuit duurzaamheidsperspectief, als vanuit een technisch-wetenschappelijke invalshoek van belang zijn. De beginselen zijn internationaal geformuleerd, maar hebben niet allemaal geleid tot concrete rechtsregels in de Nederlandse wetgeving. De waarde van de rechtsbeginselen zit in het feit dat geformuleerd is wat van belang wordt geacht en dat geeft richting aan ontwikkelingen en belangenafwegingen[14]. De beginselen van het milieurecht focussen sterk op de effecten en gevolgen van handelingen (gebruik van de ondergrond). De rol die deze beginselen kunnen spelen in een duurzaamheidsafweging, wordt hieronder kort besproken.

Voorzorgsbeginsel

Het voorzorgsbeginsel houdt in dat wanneer er kans is op serieuze of onomkeerbare schade, er uit voorzorg maatregelen moeten worden getroffen om deze schade te voorkomen, ook als nog niet onomstotelijk vaststaat of de gevolgen zich voordoen en hoe groot de te verwachte schade is. Het voorzorgsprincipe is zeer relevant voor gebruik van de ondergrond omdat er nog veel onbekend is over de ondergrond en herstelbaarheid van ondergrond beperkt is. De werkgroep vindt dat het voorzorgsbeginsel er niet toe moet leiden dat onzekere gevolgen en onzekere risico's het gebruik van de ondergrond verhinderen. Het voorzorgsbeginsel kan bijdragen aan risicobeperkende maatregelen en kan het toepassen van risicobeheersingsmethoden introduceren. Het voorzorgsbeginsel heeft dan als gunstig gevolg dat er meer kennis wordt opgedaan en vastgelegd over werken in de ondergrond en daarmee worden onzekerheden over gevolgen en risico's kleiner. Dit aspect wordt nader uitgewerkt in hoofdstuk 5.

De rechtsbeginselen geven richting aan ontwikkelingen en belangenafwegingen.

14 *Van de rechtsbeginselen van het milieurecht gaat tevens een preventieve werking uit en de beginselen hebben een vangnetfunctie ten aanzien van overtredingen die niet specifiek zijn benoemd in een wet.*

Preventiebeginsel, beginsel van bestrijding aan de bron en ALARA-beginsel

Het preventiebeginsel, beginsel van bestrijding aan de bron en het ALARA-beginsel vormen een serie van elkaar opvolgende beginselen die samen de zorgplicht vormen. ALARA staat voor *'as low as reasonably achievable'*. Het preventiebeginsel houdt in dat wanneer milieubeschermende maatregelen worden genomen, die maatregelen in eerste instantie gericht moeten zijn op het voorkomen van verontreiniging of aantasting en niet op het herstellen of ongedaan maken van de gevolgen ('voorkomen is beter dan genezen'). Het preventiebeginsel is daarmee het meest vergaande beschermingsbeginsel. Als niet of niet voldoende kan worden voldaan aan het preventiebeginsel geldt het beginsel van bestrijding aan de bron. Volgens dit beginsel dienen beschermende maatregelen in eerste instantie gericht te zijn op de veroorzakende handeling van de verontreiniging of schade. In die gevallen waarin nadelige gevolgen niet voorkomen kunnen worden, geldt het ALARA-beginsel. Volgens het ALARA-beginsel dienen regels gesteld te worden die de grootst mogelijke bescherming bieden, tenzij dit redelijkerwijs niet kan worden gevergd. De 'tenzij' in dit beginsel doelt op financiële of economische gevolgen. Aan een vergunning worden namelijk voorschriften verbonden die overeenkomen met de best beschikbare technieken en waarin het kostenaspect wordt meegewogen.

Zorgplicht moet 'handen en voeten' krijgen.

De werkgroep vindt zorgplicht uitermate relevant voor duurzaam gebruik van de ondergrond, omdat het ongewenste effecten en gevolgen inperkt. Zorgplicht kan 'handen en voeten' krijgen door te registreren wat waar ligt en door in een rapportage vast te leggen welke afwegingen ten grondslag lagen aan het besluit tot gebruik van de ondergrond. Door het vastleggen van de afwegingen kan ook na verloop van tijd nog beoordeeld worden of de zorgplicht ten tijde van het besluit voldoende in acht is genomen. Zorgplicht kan ook worden ingevuld door aan nieuwe ontwikkelingen, zoals WKO, verplicht onderzoek of een monitoringsplicht te koppelen. Daarbij kan vooraf aangegeven worden welke situaties niet (meer) toelaatbaar zijn en waar welke waarden niet overschreden mogen worden.

Vervuiler betaalt beginsel en het stand-still beginsel

Het vervuiler betaalt beginsel[15] en het *stand-still beginsel*[16] zijn beginselen uit het bestuursrecht. Met andere woorden, de beginselen geven het bestuur een handvat om regels te stellen. De werkgroep verwacht dat deze beginselen van invloed kunnen zijn op de afweging of een gebruik als duurzaam wordt gezien. De werkgroep vindt dat de handvatten die het bestuur met deze beginselen in handen heeft, consequent moeten worden doorgevoerd. Nu worden bijvoorbeeld agrariërs schadeloos gesteld voor droogteschade bij drinkwaterwinningen maar hoeven dezelfde boeren niet te betalen als er extra waterbehandelingskosten gemaakt moeten worden als de drinkwaterkwaliteit door overbemesting onacceptabel is verslechtert. In de hoofdstukken over omgaan met onzekerheden (hoofdstuk 5) en regie (hoofdstuk 6) wordt verder ingegaan op consequent handelen.

Conclusie

Bij het afwegen of een bepaald gebruik van de ondergrond duurzaam[17] is, zijn verschillende categorieën elementen van belang. Het gaat om technische, sociaal-economische en juridische elementen. De categorie die als invalshoek die gekozen wordt zal afhangen van de positie van degene die de afweging maakt ten opzichte van het voorgenomen gebruik van de ondergrond. In de praktijk zullen meerdere elementen wel een plaats krijgen in de afweging, de mate waarin en de volgorde waarop de elementen meegewogen worden, zullen verschillen.

15 *Degene die verantwoordelijk is voor een aantasting of verontreiniging draait op voor de kosten die gemoeid zijn met het voorkomen, beperken, herstellen of ongedaan maken van die aantasting of verontreiniging.*

16 *Als de feitelijk bestaande kwaliteit beter is dan de voorgeschreven minimale (kwaliteits) norm, dan geldt de bestaande kwaliteit als minimale kwaliteitsnorm. Het stand still beginsel regelt met andere woorden dat de milieukwaliteit in relatief schone gebieden niet mag verslechteren door zogenoemde 'normopvulling'.*

17 *Zie pagina 40.*

4 Methodieken voor afwegen

In het vorige hoofdstuk zijn drie categorieën van elementen besproken die betrokken kunnen worden bij een duurzaamheidsafweging voor gebruik van de ondergrond, te weten technische, sociaal-economische en juridische elementen. Door het meenemen van deze vaak ongelijksoortige elementen kan dit in de praktijk neerkomen op het vergelijken van de spreekwoordelijke 'appels en peren'. Vaak komt een afweging van de duurzaamheid van een bepaald gebruik van de ondergrond neer op een afweging van nut en noodzaak tegen de effecten en gevolgen van dat gebruik. Het nut-noodzaak element hangt samen met maatschappelijke (sociaal-economische) belangen. Elementen die te maken hebben met effecten en gevolgen liggen vaak meer in het technische, milieuhygiënische en juridische domein. Ook perceptie en acceptatie spelen hierbij een belangrijke rol.

Dit hoofdstuk beschrijft afwegingsmethodieken die gebruikt kunnen worden door overheden om de voor- en nadelen van een bepaald gebruik van de ondergrond tegen elkaar te wegen. Een afweging zal er voor de private sector uiteraard anders uitzien.

Een beschrijving van het nut, de noodzaak en de effecten en gevolgen kan zowel kwalitatief als kwantitatief zijn. Om te kunnen vergelijken of afwegen, is het in ieder geval nodig om de elementen in termen te beschrijven die vergelijkbaar zijn. De wijze waarop afweging plaatsvindt, hangt van een groot aantal factoren af zoals beschikbare middelen, tijd en kennis, schaalniveau, mate van detail, opdrachtgevers, uitvoerders en het perspectief van waaruit een afweging gemaakt wordt. Er is dus geen blauwdruk voor een afweging.

Bij een afweging van de duurzaamheid is veelsoortige informatie betrokken. Om een dergelijke afweging inzichtelijk te maken, is het nodig om die informatie eerst te structureren. In de praktijk kunnen verschillende typen afwegingen worden onderscheiden, afhankelijk van de elementen en gegevens waar een afweging op gebaseerd wordt:

- Potentiële geschiktheid in relatie tot fysieke basisgegevens.
- Gegevens over nut-noodzaak en effecten-gevolgen.
- Gegevens over alternatieven.

In dit hoofdstuk wordt eerst een aantal aandachtspunten voor duurzaamheidsafwegingen van gebruik van de ondergrond besproken die samenhangen met de elementen die in hoofdstuk 3 zijn besproken. Daarna worden voorbeelden gegeven van verschillende afwegingsmethodieken. Tot slot worden conclusies getrokken.

Aandachtspunten bij een afweging

Zonder te willen pretenderen een volledig overzicht te hebben van alle afwegingsmethodieken en afwegingen die al zijn uitgevoerd, zijn er aandachtpunten voor toekomstige afwegingen te benoemen. Deze worden hieronder genoemd.

Voor een evenwichtige afweging is het noodzakelijk om nut en noodzaak van een gebruik zowel kwantitatief als kwalitatief te bespreken en te waarderen. Hierbij moet ook oog zijn voor invloeden op nabijgelegen vormen van gebruik, bijvoorbeeld in de vorm van *win-win*[18] of *trade offs*. Ook de verdeling van gebruik van de ondergrond in ruimte en tijd moet aan de orde komen. Hierbij speelt het begrip schaarste een belangrijke rol: sommige vormen van ondergronds gebruik kunnen slechts op enkele plaatsen gerealiseerd worden. De noodzakelijkheidsvragen richten zich zowel op de noodzaak van het gebruik als op de noodzaak van de gekozen locatie.

In de praktijk wordt vaak weinig aandacht besteed aan (het communiceren van) nut en noodzaak van gebruik van de ondergrond. Dit wordt vaak evident geacht en de meeste aandacht gaat uit naar de effecten en gevolgen van het gebruik. Daardoor komt het voor dat wanneer de effecten en gevolgen in beeld worden gebracht, alsnog nut en noodzaak van dat gebruik ter discussie worden gesteld zoals bij de CO_2-opslag onder Barendrecht. Het is van belang om nut

18 *Win-win: bijvoorbeeld mogelijkheid van energiewinning uit grondwater bij een grondwatersanering.*

en noodzaak van gebruik goed te beschrijven, te onderbouwen en te communiceren.

De noodzaak van gebruik van de ondergrond wordt veelal beargumenteerd vanuit de bijdrage die de ondergrond biedt in het oplossen van maatschappelijke opgaven. De TCB (2009) heeft erop gewezen dat maatschappelijke opgaven een tijdelijk accent zijn binnen meer algemene maatschappelijke belangen die gemoeid zijn met gebruik van de ondergrond. De algemene maatschappelijke belangen die verbonden zijn met de ondergrond en op lange termijn blijven bestaan, zijn bijvoorbeeld ecosysteemdiensten als waterregulatie, drinkwatervoorraad, natuurlijk vermogen tot ziekte en plaagwering en het filteren, vastleggen en afbreken van stoffen. Naast de maatschappelijke opgaven die op korte termijn moeten worden opgelost, dient in een afweging rekening gehouden te worden met maatschappelijke belangen op lange termijn. Dit kan vorm krijgen in een afweging van het nut tegen de noodzaak van het gebruik en de toekomstige mogelijkheden. Hiermee wordt de dimensie tijd in de afweging gebracht. Een duurzaamheidsafweging is geen eenmalige bonus-malus berekening met een onveranderlijke uitkomst. Ontwikkelingen in maatschappelijke belangen, omgevingsfactoren of technische innovaties kunnen aanleiding zijn om nut en noodzaak en effecten en gevolgen na verloop van tijd opnieuw tegen elkaar af te wegen.

Een duurzaamheidsafweging is geen eenmalige bonus-malus berekening met een onveranderlijke uitkomst.

Bij de factor tijd moeten ook de mogelijkheden om aangelegde installaties verantwoord achter te laten, te hergebruiken of te verwijderen in ogenschouw worden genomen. Registratie van waar de infrastructuur of installaties liggen, is een minimale eis. Met deze aspecten dient al rekening gehouden te worden bij de aanleg, met name als het om hergebruik gaat. Installaties voor toepassing in de diepe ondergrond worden doorgaans ontworpen voor een bedrijfsduur van 10 tot 40 jaar. Het is ondoenlijk (te kostbaar) om te ontwerpen voor nog een generatie van gebruik. Toch blijken sommige installaties (inclusief boorgaten) nog veel langer in gebruik te blijven, eventueel na reparatie of opwaardering. Hergebruik van putten blijkt vaak te stuiten op aansprakelijkheid voor de gevolgen van het vorige gebruik . Ook de (financiële) eindverantwoordelijkheid voor het definitief afdichten en of verwijderen is een issue. Diepe boorgaten zijn in feite de enige toegangswegen tot de diepe ondergrond.

Om een afweging te kunnen maken is het belangrijk om naast nut en noodzaak tegelijkertijd inzicht te krijgen in effecten en gevolgen van gebruik van de ondergrond. Behalve de vraag welke effecten en gevolgen te verwachten zijn, is het van belang om inzicht te hebben in de kans dat deze zich voordoen. Tevens is het van belang of effecten en gevolgen omkeerbaar of te herstellen zijn en of het ordenen van gebruik in ruimte en tijd daarop van invloed is. Effecten hebben naast een intrinsiek karakter (de fysisch, chemisch en biotische aspecten) namelijk ook een ruimtelijk aspect en een verloop in de tijd die van belang kan zijn bij de beoordeling van het effect. De gevolgen van effecten kunnen velerlei zijn. Hierbij kan gedacht worden aan gevolgen voor de beschikbaarheid van goederen uit de ondergrond, de efficiëntie van installaties, het rendabel zijn van economische activiteiten, de mogelijkheden en ruimte voor ander ondergronds gebruik, de geschiktheid als vestigingsplaats, gezondheidsrisico's, milieurisico's, et cetera.

Een afweging is gecompliceerd als het nut van gebruik een ander maatschappelijk belang dient dan het belang waar de effecten en gevolgen gevoeld worden. Dit is bijvoorbeeld het geval bij WKO en drinkwaterwinning, oftewel duurzame energie versus watervoorziening en -kwaliteit. Het afwegen van dergelijke ongelijksoortige kwalitatief omschreven belangen is complex en vraagt om een uitgebreidere omschrijving waarin ook alternatieven voor gebruik en alternatieve locaties worden meegenomen.

Bij toepassing van het ALARA-beginsel zullen economische en financiële aspecten zwaarder wegen in vergelijking met activiteiten aan het maaiveld. Ondergrondse bouw van infrastructuur is immers relatief kostbaar ten opzichte van bovengrondse aanleg (SOVI, 1993) en dit moet worden afgewogen tegen andere alternatieven bovengronds.

Bij een afweging moet ook beschreven worden wat de relatieve bijdrage van het gebruik van de ondergrond is in het grote geheel. Hoeveel energie kan bijvoorbeeld geothermie en schaliegas opleveren ten opzichte van de totale energiebehoefte en is het dan de moeite waard om de ondergrond daarvoor te gebruiken. Daarnaast is de efficiëntie van het gebruik van belang in vergelijking met alternatieve vormen van gebruik binnen hetzelfde maatschappelijk belang. Welk gebruik van de ondergrond levert bijvoorbeeld het meest efficiënt energie: geothermie of schaliegas.

Voorbeelden van afwegen van gebruik van de ondergrond

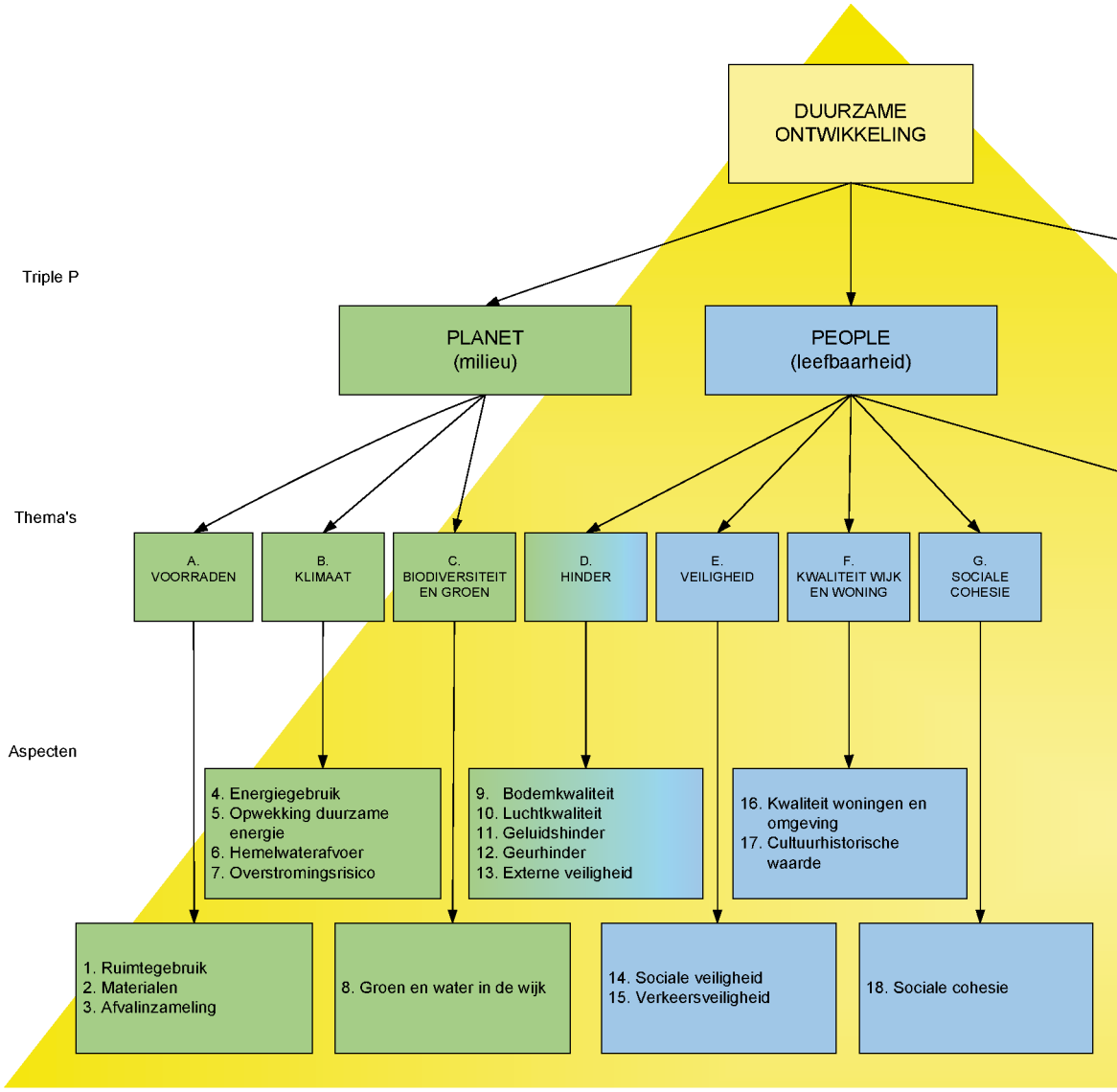
MKBA

Een Maatschappelijke Kosten Baten Analyse (MKBA) is een methode om verschillende belangen met elkaar te kunnen vergelijken en tegen elkaar af te kunnen wegen door de belangen in eenzelfde kwantitatieve grootheid uit te drukken. In een MKBA worden de kosten (aanleg en onderhoud) en de baten uitgedrukt in euro's. De vertaalslag naar euro's die nodig is voor een MKBA maakt de methode minder geschikt voor een afweging vanuit technisch-wetenschappelijke invalshoek. Er is nog weinig ervaring met bijvoorbeeld het uitdrukken van de waarde voor de leefomgevingskwaliteit (in euro's) van een ondergronds bouwwerk.

Het werkelijke nut van gebruik ligt op die locaties waar vraag en aanbod bijeen komen.

LCA

Een van de meest gebruikte methoden voor het kwantificeren van duurzaamheid is de Life Cycle Analysis (LCA, ook wel Life Cycle Assessment genoemd). In een LCA wordt de invloed van een product of van een menselijke activiteit op het milieu in kaart gebracht voor de gehele levensduur en de hele keten De uitkomst van een LCA is een milieuprofiel: een 'scorelijst' met milieueffecten. Aan het milieuprofiel is te zien welke milieueffecten de belangrijkste rol spelen in de levenscyclus. Een LCA is een nauwkeurige analyse met een smal milieueffectgericht blikveld en gericht op één product of activiteit. De LCA methodiek is vanuit wetenschappelijk oogpunt een goede methodiek om producten of activiteiten op kwantificeerbare grootheden te analyseren en te vergelijken.

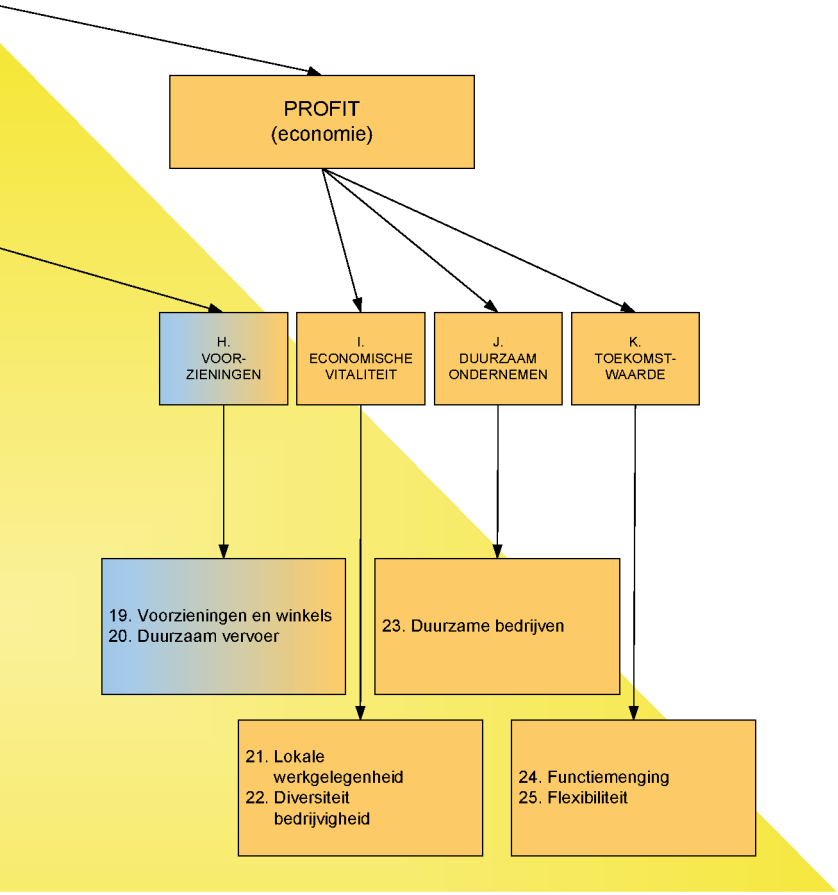


Figuur 10. Thema's en aspecten waarop het duurzaamheidsprofiel wordt vastgesteld in een DPL (IVAM, 2010).

DPL

Een andere methodiek om duurzaamheid te kwantificeren is het Duurzaamheids-Profiel van een Locatie (DPL[19], ook wel DuurzaamheidsPrestatie van een Locatie genoemd). DPL is een praktische methode waarmee duurzaamheid een duidelijke plaats krijgt in de planningscyclus van de ruimtelijke ordening. Een DPL is een momentopname van een locatie of ontwerp en vergelijkt dit met de situatie waarin voor eenzelfde type locatie nèt wordt voldaan aan de eisen uit wet- en

19 *De doorontwikkeling van DPL en het intellectueel eigendom is van IVAM. Het prototype van DPL werd ontwikkeld door IVAM in samenwerking met TNO in opdracht van het Ministerie van VROM.*



regelgeving. Deze wettelijke eisen hebben bijvoorbeeld betrekking op geluidshinder, luchtkwaliteit, bodemkwaliteit en energieverbruik. Ook niet wettelijk gereguleerde zaken zoals parkeernormen, maximale loopafstanden tot openbaar vervoer en de sociale samenhang in de wijk hebben een plek in de DPL. In een DPL wordt gescoord[20] op 11 thema's die zijn onderverdeeld in 24 duurzaamheidsaspecten (zie figuur 10).

20 *Het scoren gebeurt door het geven van een 'schoolcijfer' 1 tot 10, waarbij de referentielocatie net voldoende (een 6) scoort.*

Van de 24 duurzaamheidsaspecten in een DPL hebben waterbeheer, bodemkwaliteit (verontreiniging) en cultuurhistorische waarden een expliciete relatie met de ondergrond. Ook de aspecten ruimtegebruik en energie hebben raakvlakken. Om duurzame ontwikkeling specifiek voor de ondergrond in beeld te brengen, is medio 2011 een project gestart voor een prototype DPL Ondergrond[21]. Dit prototype zal een selectie van thema's en aspecten bevatten die maatgevend zijn voor duurzaam gebruik van de ondergrond op wijkniveau zoals archeologie, aardkundige waarden, mate van afdekking van de bodem en energievoorziening. In het prototype wordt tevens een eerste versie van indicatoren, rekenregels en referentiewaarden gemaakt.

Een DPL kent een grove manier van scoren, is gericht op locatie of wijkniveau en heeft een breed sociaal blikveld. Technisch inhoudelijke kennis kan ingebracht worden in de indicatoren en rekenregels 'achter' de DPL. Een DPL analyse dient vaak als startpunt voor het zoeken naar duurzame verbeteropties vooral op het thema ruimte en leefomgevingskwaliteit.

Berekeningsmethoden voor gebruik van de ondergrond als energieleverancier[22]

De analyse van het gebruik van de ondergrond als energieleverancier kan gebruik maken van recent ontwikkelde generieke methoden. Deze analyse valt in twee onderdelen uiteen:

A Schatting van de maximale bijdrage die de beschouwde methode aan het landelijke energieverbruik kan leveren.

B Schatting van de *recover efficiëntie* die daadwerkelijk te realiseren valt. Wij definiëren drie soorten *recover efficiënties*:
- De theoretische maximale efficiëntie die bij optimale ontwikkeling van de technologie haalbaar is.
- De praktisch haalbare efficiëntie die met de huidige stand van de techniek haalbaar is.
- De praktisch haalbare efficiëntie met volledig ongedaan maken van de milieuschade in het algemeen en de koolstof 'voetafdruk' (broeikasgas) in het bijzonder.

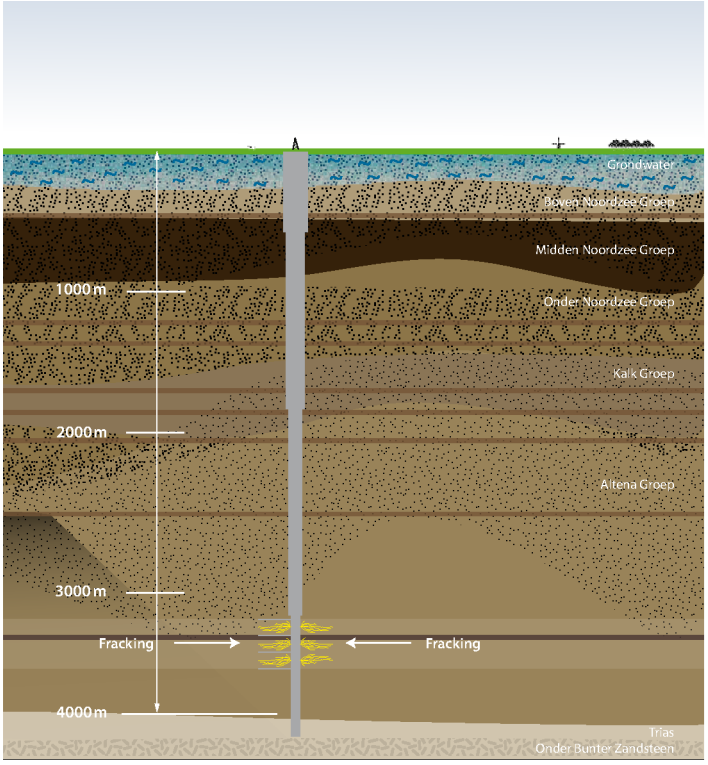
21 *Consortium van IVAM UvA BV, Witteveen+Bos en het Stadsgewest Haaglanden, SKB-Project, 2011.*

22 *Bijlage 2 bevat een uitgebreide beschrijving van deze methoden, met literatuurverwijzingen.*

Deze begrippen kunnen ook worden gebruikt bij het kwantificeren van duurzaamheid bij bijvoorbeeld bodemsanering zoals in het kader verderop wordt uitgewerkt.

Ad A: Bij de schatting van de maximale bijdrage van de beschouwde methode aan de landelijke energiewinning is 'de netto energie per vierkante meter oppervlak die een energie-winningsmethode kan leveren' een goed richtgetal om een idee te vormen over de efficiëntie van het voorgestelde gebruik van de ondergrond. Het huidige Nederlandse energie verbruik bedraagt ongeveer 100 GW. Dit betekent dat de Nederlandse energieconsumptie per eenheid oppervlak ongeveer 2,5 W/m² bedraagt, gegeven een totaal landoppervlak van 41.500 km². Men kan eenvoudig uitrekenen dat geothermische energie in Nederland een maximale bijdrage zou kunnen leveren van om en nabij 63 mW/m². Dit is circa een vierhonderdste deel van ons energieverbruik; er is dus geen sprake van een substantiële bijdrage van geothermie aan onze energievoorziening. De bijdrage van schaliegas aan de landelijke energiewinning zou in de komende twintig jaar mogelijkerwijze wel substantieel kunnen zijn, waarbij het opbergen van CO_2 in de ondergrond kan worden 'betaald' uit de geproduceerde energie. Op dit moment echter is het produceren van schaliegas met het verwijderen van de overige mogelijke milieuschade nog onbewezen technologie.

Figuur 11. Boortoren bij een proefboring naar schaliegas in Engeland (bron: Cuadrilla Resources).



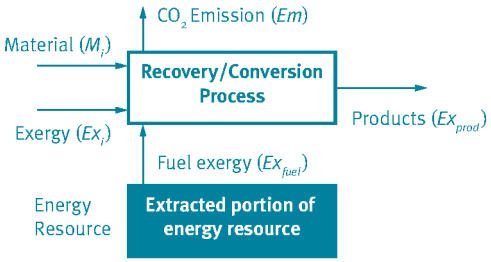
Figuur 12. Impressie van een mogelijke boorput voor schaliegas in de Brabantse ondergrond tot een diepte van 4.000 meter (bron: Cuadrilla Resources).

Ad B: Om de vraag te beantwoorden welk gebruik van de ondergrond het meest efficiënt energie levert (bijvoorbeeld geothermie of schaliegas), is het nodig om de kwaliteit van verschillende soorten energie (chemische energie van het gas of warmte energie van het geothermische water) te kunnen bepalen. Pas daarna kan men beide vergelijken. Het concept nuttige energie (exergie) geeft de mogelijkheid om verschillende energievormen van verschillende kwaliteit onder een noemer te brengen door te berekenen hoeveel nuttige energie (arbeid, exergie) per eenheid van die energievorm maximaal geproduceerd kan worden. Zo kan bijvoorbeeld warmte energie uit een geothermisch reservoir vergeleken worden met verbrandingsenergie van schaliegas. Een energievorm heeft per definitie een hogere kwaliteit dan een andere energievorm wanneer daaruit maximaal meer nuttige energie per eenheid kan worden geproduceerd. Dit maakt het mogelijk een begrip als *recovery efficiëntie* te definiëren (zie figuur 13), omdat alle grootheden nu worden uitgedrukt in dezelfde soort energie, te weten nuttige energie (exergie).

De ervaring leert dat men exergiekosten voor materialen vaak onderschat. Een andere exergiekosten-factor die vaak wordt onderschat is die van de compressiekosten. Voor een geothermisch reservoir bedragen deze onder normale omstandigheden (redelijke ondergrondse permeabiliteit) orde grootte 10 procent van de geproduceerde exergie. Echter bij slecht doorlatende reservoirs of bij verstopping lopen deze compressiekosten gemakkelijk op tot boven de 100 procent. Dit laat dan ook direct zien waarom het begrijpen en voorkomen van de oorzaken van hoge compressiekosten een speerpunt van het geothermisch onderzoek is. Ten slotte onderschat men vaak ook de exergiekosten die nodig zijn om de CO2 voetafdruk te verwijderen (Carbon Capture and Sequestration, CCS). In deze processen betekent het gebruik van lucht in plaats van zuurstof bij de verbrandingsstap dat capture enkele tientallen procenten van de energiebron meer kost (Delucchi, 2003).

Het ligt voor de hand om bij het uitvoeren van een project om een 'exergie-analyse' verplicht te stellen, waarbij men ook de benodigde exergie voor het verwijderen van de milieuschade in rekening brengt. Een ruim negatieve praktische *recovery efficiëntie*, inclusief het niet effectief voorkomen van de CO_2 voetafdruk, geeft aan dat gebruik van de methode met de huidige stand van de techniek moet worden ontraden.

In het kader volgt een voorbeeld voor het kwantificeren van duurzaamheid van bodemsanering volgens de hierboven beschreven concepten.



Figuur 13. Definiëring van recovery efficiëntie, van ondergrondse bron tot product (Eftekhari et al.*, 2011).*

Kwantificeren van duurzaamheid van bodemsanering volgens het exergieconcept[23]

Groeiende bewustwording over duurzaamheid heeft geleid tot zogenoemde duurzame saneringstechnologieën. Een echte evaluatie van duurzaamheid dient naast verschillende saneringstechnieken ook de niets-doen optie te bevatten. Nu is de niets-doen optie hoofdzakelijk gebaseerd op een risico-benadering gecombineerd met een economische beoordeling gebaseerd op lokale ontwikkelaspecten. ELCA (*exergetic life cycle assessment*) verschaft een methodologie voor een kwantitatieve evaluatie van verschillende scenario's.

Exergie is de hoeveelheid potentiële arbeid die kan worden verkregen door in een systeem de reversibele processen in evenwicht te brengen met hun omgeving. Bij productieprocessen gaat energie verloren als lage temperatuurwarmte. Exergie verdwijnt evenwel ook in de vorm van chemisch en fysisch reactieve materialen. Een aanwezige chemisch-fysische exergie in de afvalstroom die niet in balans is met het omliggende ecosysteem kan een significante verstoring zijn voor de delicate balans van aanwezige geo-chemische cycli. Voorbeelden hiervan zijn de kleine concentraties van hoog-toxische chemicaliën die een effect hebben op de enzymsystemen van levende organismen. Dit exergieverlies noemen we verontreiniging.

Grondsanering heeft tot doel het ecosysteem tussen de exergie van verontreiniging en het omliggend ecosysteem te herstellen (Borja and Dauer 2008; Chen and Chen 2007; Ellis 2009). Dit wordt gewoonlijk bereikt door het verwijderen van de verontreiniging door gebruik van verschillende middelen zoals door fysische verwijdering (bijvoorbeeld drijflaagverwijdering of pomp en behandel methode), chemische degradatie door gebruik van oxiderende stoffen en door het stimuleren met nutriënten van de lokale microbiologie om verontreinigingen af te breken. Een laatste benadering is om het saneren te laten uitvoeren door het ecosysteem zelf. Dit proces wordt toegepast in de zogenoemde *natural attenuation remedial approaches*.

Een exergie-analyse kan worden gebruikt om de uitwerking die de verontreiniging heeft op het ecosysteem te evalueren door de aanwezige exergie in het verontreinigde systeem te vergelijken met een referentiesysteem (Heimovaara *et al.* 2010). Er zijn verschillende opties beschikbaar om zo'n referentiesysteem te kiezen. Om deze aanpak toe te lichten nemen we een bron-pad-object concept met de focus op de grondwatersituatie.

23 *Voorbeeld aangeleverd door Timo Heimovaara, Ali Akbar Eftekhari en Hans Bruining, TU Delft.*

Traditioneel wordt bij grond- en grondwatersanering alleen de concentratie van de verontreiniging in rekening gebracht, andere veranderingen in de grondwaterkwaliteit worden niet beschouwd, zoals de pH, de redox en het zoutgehalte. De exergie-analyse laat echter een subtielere benadering toe. Als eerste wordt de grondwaterkwaliteit van de niet-verontreinigde achtergrond als referentie gekozen. Dit is de natuurlijke conditie waaraan het ecosysteem zich benedenstrooms heeft aangepast. Herstel van deze grondwaterkwaliteit zou een complete restauratie van het ecosysteem betekenen waarin het grondwater het benedenstroomse ecosysteem voorziet met een hoeveelheid van de bron. Een tweede keus voor de referentie kan de waterkwaliteit van het benedenstrooms ecosysteem zijn. Herstel van het grondwater tot deze kwaliteit zou betekenen dat het ecosysteem niet wordt beïnvloed door de verontreiniging, dat ook iedere door het ecosysteem toegevoegde bron aan het grondwater wordt verwijderd en dat het ecosysteem zelf verandert om zich aan te passen aan dit verlies van bronnen. Een derde keus voor de referentie kan de grondwaterkwaliteit zijn die zich ontwikkelt als de van nature aanwezige organismen alle verontreinigingen afbreken met gebruik van nutriënten en substraten die in het systeem aanwezig zijn (inclusief de verontreiniging).

Grond- en grondwatersanering is vereist als het systeem de buffercapaciteit mist en de verontreiniging een negatieve invloed heeft op het ecosysteem. In deze context kan de exergieanalyse van de toegepaste technologie worden vergeleken met de geproduceerde exergie, ofwel het exergieverschil tussen de verontreiniging en de referentie. De verhouding van de geproduceerde exergie en alle exergie die benodigd is voor de sanering kan worden berekend. Bovendien is het ook mogelijk de vernieuwbaarheidsparameter te evalueren en als zodanig de duurzaamheid van verschillende saneringsopties te vergelijken.

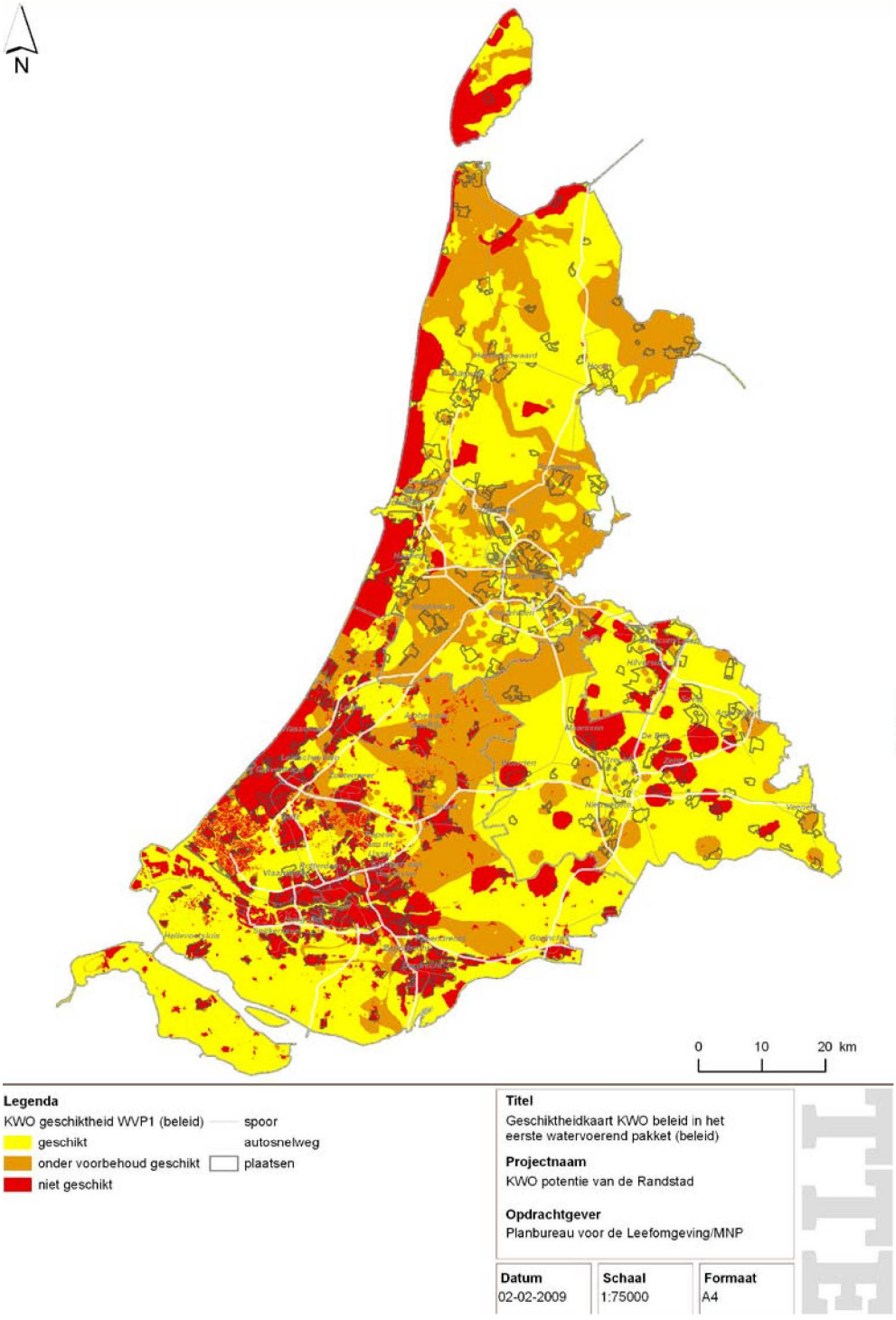
Zo kan via analyse het zelfreinigende vermogen van een grondwatersysteem worden gekwantificeerd. Als dit vermogen tot zelfreiniging te gering, is kan de aanpak worden benut om de beste saneringsaanpak te identificeren vanuit een duurzaamheidsperspectief.

Afwegen met gebruik van basisgegevens

Basisgegevens ten aanzien van de geschiktheid van de bodem, beschikbare afnemers van de goederen c.q. diensten en ander bestaand of noodzakelijk gebruik geven een beeld van de potentiële geschiktheid van de ondergrond voor een bepaald gebruik. Een manier om deze gegevens te presenteren is het opstellen van een zogenoemde kansenkaart of geschiktheidskaart. Als het gaat om gebruik van de ondergrond zijn deze kaarten vaak gebaseerd op onderliggende geowetenschappelijke kenmerken.

Kansenkaarten zijn (soms driedimensionale) kaarten waarop is aangegeven waar de ondergrond goede kansen biedt voor bijvoorbeeld het gebruik voor WKO. De kansenkaart wordt opgesteld aan de hand van technisch-wetenschappelijke kennis en informatie die leidt tot het definiëren van de mogelijkheid. Zo geldt voor WKO onder andere dat er een minimale doorlatendheid van het watervoerend pakket nodig is dat de grondwaterstromingssnelheid kleiner moet zijn dan 50 m per jaar en er geen redoxgrens mag worden 'aangetrokken' tot binnen brongebieden van de installatie. Naast dergelijke randvoorwaarden wordt mogelijk tevens rekening gehouden met juridische of beleidsmatige randvoorwaarden, zoals een verbod om te boren binnen een grondwater-beschermingsgebied. Een dergelijke mix aan informatie en kennis wordt samengebracht in een kaart als gekleurde vlekken die aangeven dat het betreffende gebied geschikt is voor het beoordeelde gebruik, eventueel onder aanvullende voorwaarden. Een kansenkaart is in deze vorm een weergave van het beschikbare aanbod van de ondergrond (figuur 14).

Naast het aanbod van de ondergrond speelt tevens de vraag naar het gebruik een rol in de beoordeling van nut en noodzaak. Een groot geothermisch potentieel op een locatie waar geen vraag naar warmte is, is van weinig nut. Het is daarom van belang om naast kansenkaarten ook in beeld te brengen waar er vraag is naar een bepaald gebruik van de ondergrond. Het werkelijke nut van een gebruik ligt op die locaties waar vraag en aanbod bijeen komen (of worden gebracht). Het voeren van meer en proactief regie op waar, welk gebruik van de ondergrond plaatsvindt, kan het daadwerkelijk nuttig gebruik van de ondergrond vergroten.



Figuur 14. WKO Geschiktheidskaart in het eerste watervoerende pakket in de Randstad (PBL, 2009).

Afwegen met alternatieven

Ter onderbouwing van de noodzaak en om een vergelijking te kunnen maken van de effecten en gevolgen moet aandacht worden besteed aan alternatieven. In theorie zijn drie type alternatieven mogelijk:

- Alternatieve gebruiksvormen die eenzelfde bijdrage leveren aan een maatschappelijk belang.
- Alternatieve gebruiksvormen voor het desbetreffende deel van de ondergrond.
- Alternatieve locaties voor het gewenste gebruik.

Een ontwikkeling wordt in praktijk geïnitieerd door een vraag of behoefte zoals vraag naar woningen, drinkwater en infrastructuur en behoefte aan een plek om afvalstoffen zoals brijn of nucleair afval kwijt te raken. Dit beperkt de alternatieven die in de (voor)ontwerpfase worden gemaakt. Als er behoefte is aan waterwinning zal geen van de alternatieven immers een ander gebruik dan waterwinning voorstellen. Op basis van de voorontwerpen wordt veelal al een keuze gemaakt. Die keuze wordt vervolgens uitgewerkt tot een ontwerp dat uiteindelijk tot een project zal leiden. In de besluitvormingsfase wordt een milieueffectrapportage gebruikt als methode om effecten en gevolgen van het project in kaart te brengen.

Een m.e.r.[24] dient als hulpmiddel bij besluitvorming over individuele ruimtelijke plannen. Bij de totstandkoming van ruimtelijke plannen wordt een integrale afweging gemaakt tussen veel verschillende belangen op het gebied van bijvoorbeeld stedenbouw, geluidshinder en verkeer en vervoer. In de ontwerpfase worden veelal alternatieven geschetst waarin één van de belangen optimaal is uitgewerkt. Uit het Besluit mer[25] volgt of ook de milieugevolgen van die alternatieven in beeld gebracht moeten worden. In een m.e.r. moet onder meer 1) de bestaande toestand van het milieu worden beschreven, 2) de voorgenomen activiteit en eventuele alternatieven, en 3) een beschrijving van de gevolgen voor het milieu en de maatregelen om belangrijke gevolgen te voorkomen.

24 *M.e.r. of MER: de afkorting m.e.r. wordt gebruikt om de procedure van milieueffectrapportage aan te geven. Het milieueffectrapport waarin het resultaat van de procedure is weergegeven, wordt aangegeven met MER.*

25 *Het Besluit mer is een algemene maatregel van bestuur op basis van artikel 7.1 Wet Milieubeheer.*

Een m.e.r. moet worden doorlopen voor activiteiten of plannen[26] die 'belangrijke nadelige gevolgen kunnen hebben voor het milieu' (Artikel 7.1 Wet milieubeheer). Tot voor kort bevatte het Besluit mer, voor een opgenomen lijst van activiteiten, drempelwaarden voor bijvoorbeeld tracélengte, oppervlakte of hoeveelheid te onttrekken of te infiltreren grondwater en dergelijke. Het bevoegd gezag mocht ervan uitgaan dat wanneer een activiteit beneden de drempelwaarden bleef, er geen aanzienlijke milieugevolgen te verwachten waren en er geen m.e.r. nodig was. Dit bleek in strijd met de Europese regelgeving voor milieueffectrapportage (85/337/EEG van de Raad van 27 juni 1985). Om die reden is met ingang van 1 april 2011 het Besluit mer gewijzigd en moet een bevoegd gezag zich bij elke activiteit vergewissen of er daadwerkelijk geen aanzienlijke milieugevolgen te verwachten zijn. Of een m.e.r. moet worden doorlopen, wordt naast de te verwachten milieueffecten ook beoordeeld aan de hand van de omvang van de activiteit, de ruimtelijke context en de cumulatie in de omgeving.

Een m.e.r. is verbonden aan de voorbereiding van een besluit (vergunningverlening voor een activiteit of vaststelling van een plan). Op basis van de MER kan een bevoegd gezag besluiten om de activiteit niet toe te staan of om aan de activiteit aanvullende voorwaarden te verbinden die nodig zijn ter bescherming van het milieu (artikel 7.35 Wm). Er is in de besluitvorming geen sprake meer van het afwegen van verschillende alternatieven of locaties op basis van milieueffecten.

Ontwikkel een specifieke m.e.r.-achtige procedure waarin noodzaak, kansen, risico's, baten, kosten en energiebalansen een rol spelen.

Het juridisch zwaartepunt ligt op de vraag òf er een milieueffectrapportage moet worden gemaakt en veel minder op de inhoud. De beschrijvende wijze waarop milieueffecten in de MER mogen worden opgenomen, heeft voor een duurzaamheidsafweging vanuit technische wetenschappelijk invalshoek onvoldoende zeggenschap. De bijdrage van een m.e.r. aan een duurzaamheidsafweging is gelegen in het in beeld brengen van knelpunten op milieugebied. Een m.e.r. zou een grotere rol kunnen spelen in duurzaamheidsafwegingen wanneer de procedure vroeg in het proces voor meerdere alternatieven opgesteld zou moeten worden.

26 *Het betreft plannen zoals bestemmingsplannen of structuurvisies waarin activiteiten kunnen worden opgenomen die belangrijke nadelige gevolgen kunnen hebben voor het milieu.*

Conclusie

De werkgroep concludeert dat het afwegen van duurzaam gebruik van de ondergrond een gecompliceerd vraagstuk is. Er bestaan verschillende methoden, maar een blauwdruk voor een brede duurzaamheidsafweging is er nog niet. Geld, tijd, voorraden en energie laten zich lastig in één methodiek vangen. Vaak blijken nut&noodzaak van een bepaald gebruik van de ondergrond een ander maatschappelijk belang te dienen dan effect&gevolg, wat het afwegen compliceert. De werkgroep vindt daarom dat afwegen van duurzaamheid van gebruik van de ondergrond veel deskundigheid vereist. De werkgroep beveelt aan om een specifieke m.e.r.-achtige procedure te ontwikkelen voor het gebruik van de ondergrond, waarin noodzaak, kansen (vraag en aanbod), risico's (effect en gevolg voor zowel milieu als maatschappij), baten, kosten en energiebalansen een rol spelen.

5 Omgaan met onzekerheden

In de voorafgaande hoofdstukken is gebleken dat onzekerheid, oftewel de kans dat iets onvoorspelbaars of onverwachts gaat gebeuren, een rol speelt in een duurzaamheidsafweging van gebruik van de ondergrond. Hoe groot is de kans dat bij gebruik ongewenste effecten optreden? Wat zijn dan de gevolgen?

Onzekerheden

De ondergrond is een natuurlijke omgeving, door natuurprocessen gevormd en gestuurd. In de ondergrond heerst (bio)diversiteit op alle denkbare wijzen. Er is sprake van intrinsieke complexiteit en dynamiek en daarmee samenhangende heterogeniteit in voorkomen en eigenschappen. Door technische innovatie komen nieuwe mogelijkheden voor het gebruik van de ondergrond in beeld. Ook het gebruik van (innovatieve) techniek gaat gepaard met risico's en onzekerheden. Dit betekent dat aan (werken met) de ondergrond onzekerheden verbonden zijn. Binnen het streven om op duurzame wijze gebruik te maken van de ondergrond moet op verstandige wijze worden omgegaan met onzekerheden.

Begin 21ste eeuw heeft in het Nederlandse bodembeleid een koerswijziging plaatsgevonden van bodembescherming naar risico-gebaseerd beheer. De betekenis die aan dit begrip gegeven wordt, is in het kader van bodembeheer nooit uitgewerkt. De term wordt vooral gebezigd als tegenhanger voor bodembeschermend beheer. In dit rapport hanteren we het uitgangspunt dat risico-gebaseerd beheer gericht is op het omgaan met de technisch-natuurwetenschappelijke risico's en niet de zakelijke of juridische risico's.

In de literatuur worden risico's op basis van kennis en ervaring ingedeeld naar de graad van zekerheid over de kans van optreden en de bijbehorende gevolgen. De risico-indeling kent een gradueel verloop, met aan het ene uiterste te berekenen risico's, met eenduidig kansen en bekende gevolgen en aan het andere uiterste totale onzekerheid over kansen en gevolgen. Voor risico's met een grote mate van zekerheid over kansen en gevolgen volstaat de klassieke risicobenadering[27] en zijn de beginselen van eigen verantwoordelijkheid (bijvoorbeeld het risico op longkanker voor rokers) of solidariteit[28] van toepassing.

Aan (werken met) de ondergrond zijn onzekerheden verbonden.

Ergens wordt op de risico-indeling een punt overschreden waarbij de onzekerheden over kans en/of gevolg echter zo groot worden dat ook wel gesproken wordt over onzekere risico's. Veel ontwikkelingen en nieuwe technologieën gaan gepaard met onzekere risico's. Meestal ontbreekt het aan ervaringen met toepassingen en moeten inschattingen worden gemaakt die voor een deel een speculatief karakter hebben (subjectief) en daarom controverses kunnen uitlokken. Eigen verantwoordelijkheid en het solidariteitsbeginsel richten zich met name op de preventie en afwikkeling van schade en zijn daardoor niet afdoende voor onzekere risico's.

Het standaardbegrip van risico (kans maal gevolg) bevat niet de beleving van risico's. Beleving is essentieel voor het draagvlak van te nemen maatregelen of besluiten. De samenleving is immers gevoeliger voor de beleving van het risico dan voor het risico zelf. Bij omgaan met onzekerheden is derhalve de perceptie – dat wat de omgeving ervan vindt – mede bepalend. In dit verband is het nuttig het risicobegrip uit te breiden naar impact (= risico maal perceptie) (Barends, 2011) en langs die lijn de (maatschappelijke) steun te verwerven om het verstandig omgaan met onzekerheden uit te dragen (communicatie). Ook het voorzorgsbeginsel biedt middelen voor het probaat omgaan met onzekerheden.

27 *In de klassieke risico-omschrijving is 'Risico' het product van 'Kans' en 'Gevolg'. Door de kans te verkleinen dat een gevaar intreedt of door de gevolgen te beperken probeert men het risico te beheersen.*

28 *In sommige gevallen (zoals veiligheid in de arbeidsomgeving) is de gemeenschappelijke risicofactor bepalender dan die van het individuele handelen. Effectieve risicobeheersing kan dan via de weg van collectieve maatregelen tot stand komen (bijvoorbeeld ARBO-wetgeving). Dit wordt ook wel het solidariteitsbeginsel genoemd.*

Voorzorgsbeginsel en onzekerheden

Door de introductie van het voorzorgbeginsel in de verantwoordelijkheden ontstaat er een nieuw soort risicobenadering. Risico's worden niet vermeden, maar worden bewust genomen waarbij alle mogelijke voorzorgsmaatregelen worden getroffen om risico's te identificeren en onzekerheden te verkennen. Dit betekent dat er proactief gehandeld kan worden, beleid kan worden geformuleerd en voorzorgsmaatregelen worden getroffen. Het risicobegrip heeft hier betrekking op zowel het optreden van gunstige effecten als op het optreden van ongunstige effecten waaronder ook de onzekerheid over de kwetsbaarheid van natuurlijke systemen. De term voorzorgsprincipe wordt vaak ten onrechte gebruikt voor 'voorzichtigheid betrachten'. Het principe gaat niet in eerste instantie over voorzichtigheid of het tegenhouden van veranderingen, maar over hoe te handelen bij onzekerheden.

Het voorzorgsbeginsel is niet verankerd in de Nederlandse wet- en regelgeving. Bij het hanteren van het voorzorgsbeginsel in de praktijk worden drie aspecten onderscheiden (Gezondheidsraad, 2003) waar invulling aan gegeven moet worden:
1. wetenschappelijke onzekerheid,
2. schadedrempel en 3. omkering van de bewijslast.

Voorzorgsbeginsel

Mededeling 2000/001/EEG van de Europese Commissie:

Precautionary principle:
Where there are threats of serious or irreversible damage, lack of full scientific certainty shall not be used as a reason for postponing cost-effective measures to prevent environmental degradation.

Wetenschappelijke onzekerheid

Natuurlijke processen zijn vanuit een wetenschappelijk perspectief onzeker naar aard en intensiteit vanwege beperkte kennis en grote complexiteit, dynamiek en onbekendheid met (lange-duur) effecten van menselijk handelen op chemisch-fysische en (micro)biologische processen. Het is daarom niet altijd duidelijk of er bij gebruik van de ondergrond schade ontstaat en in welke mate. Voorbeelden zijn:

- Gaswinning Waddenzee ⇒ zandhonger ⇒ in stand houden natuurlijke waarden van het dynamische Waddensysteem.
- Gasbuffering in een reservoir in een tektonisch actief gebied ⇒ triggering aardtrillingen.
- Verticale infrastructuur ⇒ verstoring/kortsluiting watervoerende lagen door aanbrengen/ verwijderen paalfundering, verticale buizen, et cetera. worden vaak vergeten.

Ook moet er onderscheid gemaakt worden tussen *known unknowns* (bijvoorbeeld lokale doorlatendheid als eigenschap en kwetsbaarheid van grondwaterecosystemen voor verontreinigingen als algemeen onbekend proces) en *unknown unknowns* (wat gebeurt er in 1 miljoen jaar opslag met radioactief afval in de ondergrond). In dit geval gaat het om het probleem van heterogeniteit van de ondergrond waardoor zaken onvoorspelbaar zijn versus de processen die we niet goed kennen en dus onvoldoende kunnen voorspellen.

Schadedrempel

Alvorens voorzorgsmaatregelen kunnen of (in juridische zin) moeten worden genomen, is het vaststellen van de omvang van mogelijke schade noodzakelijk. Hierbij wordt veelal het principe van niet-verwaarloosbare schade gehanteerd, of met betrekking tot de natuurlijke omgeving, het stringentere principe van kans op onherstelbare schade. Ten aanzien van de bebouwde omgeving geldt als criterium vaak esthetische schade als aanvaardbaar (in tegenstelling tot gebruiksschade of erger, constructieve schade). Vanwege onbekendheid met lange-duureffecten ten aanzien van de natuurlijke omgeving is het vaststellen van een passende schadedrempel niet eenvoudig. Hierbij speelt ook de beleving (de maatschappelijke impact) een rol.

> *De samenleving is gevoeliger voor de beleving van het risico dan voor het risico zelf.*

In sommige gevallen bestaat er voldoende historische informatie op basis waarvan ten minste een ondergrens kan worden aangegeven voor de schadedrempel, dit onder de aanname dat het natuurlijke systeem zich in de toekomst net zo zal gedragen als in het verleden. Deze aanpak is bijvoorbeeld gevolgd bij het vaststellen van de gebruiksruimte voor gaswinning onder de Waddenzee.

Omkering bewijslast

In het algemeen verbindt men aan het voorzorgsbeginsel het principe van omkering van de bewijslast. De veroorzaker dient aan te tonen dat door hem aangebrachte maatregelen de gespecificeerde onzekerheden naar vermogen en volgens de *state of the art* uitsluiten, dan wel tot een aanvaardbaar niveau reduceren.

Omgaan met onzekerheden in de praktijk

Als risico's niet in eenduidige kansen en/of gevolgen zijn uit te drukken, dan verdient het aanbeveling voorspellingen[29] op te nemen. Hoewel het minder wetenschappelijk lijkt, is schatten met gebruik van expert judgement niet verwerpelijk. Een systematische aanpak van de analyse van de gevolgen van onzekerheden is de probabilistische methode. Voor alle bedachte alternatieven worden gekwantificeerde kansen bepaald (berekend of geschat) en de bijbehorende gevolgen berekend, zowel de positieve als de negatieve. Ten slotte wordt bij vergelijk duidelijk welk alternatief de voorkeur verdient en kan door betrokkenen een transparante en rationele keus gemaakt worden. De onbekendheid met de ondergrond geeft een extra complicatie: het geschatte risico zal in het algemeen afhangen van de perceptie van de ondergrond (*engineering* factor)[30].
In de praktijk dienen dan ook meerdere mogelijke ondergrond(gedrags)modellen in de risicobeschouwing te worden meegenomen. Gericht monitoren tijdens het gebruik van de ondergrond kan de kennis van de ondergrond vergroten en de onzekerheid van de risico's verkleinen. Dit houdt impliciet in dat een zekere bijstuurbaarheid in het proces mogelijk is om de risico's te kunnen beheersen, zowel in positieve als in negatieve zin. Dit wordt hierna bij de *Observational Method* en Hand-aan-de-kraan nader uitgewerkt.

Voorbeeld 1:

Een ontgraving middels een bouwkuip wordt gedimensioneerd op vier noodzakelijke steun (anker-/stempel) niveaus. Tijdens het ontwerp wordt geschat dat, bijvoorbeeld ten gevolge van de bouwvolgorde of gunstige grondeigenschappen, een steunniveau kan vervallen. Door het meten van de verplaatsingen van de bouwkuipwanden en belendingen kan dan, wanneer deze zich binnen vooraf vastgestelde toleranties bevinden, besloten worden een steunniveau te laten vervallen.

29 *'Voorspellen' wordt vaak geassocieerd met de vaardigheid om kansen en/of gevolgen te voorzien, inclusief hun relatieve gewicht. Een meer bescheiden variant is: scenario's, waarbij de kans van optreden in het midden wordt gelaten. Het is de vraag wat beter is: scenario's of voorspellen met niet onderbouwde kansen (wat te pretentieus kan blijken te zijn). In een beheersproces is in principe een voorspelling geoorloofd, mits regelmatig getoetst aan de realisatie en zo nodig bijgesteld.*

30 *"De onzekerheden in de ondergrond zijn relatief groot. Dit komt door gebrek aan informatie van de ondergrond en de interpretatie en keuzes van de ingenieur (subjectiviteit). Dat laatste aspect noem ik de* engineering *factor. Die factor schommelt dus tussen de 20 en 45%, en soms meer. Voor de praktijk betekent dat een veilige marge van 40 tot 100 procent zou moeten worden toegepast. Dat gebeurt niet altijd, want het kost geld. Het risico dat men dan neemt wordt onderschat." (Barends, 2009).*

Voorbeeld 2:

De bouw van een parkeergarage kan mogelijk via een zogenaamde poldergarage worden gerealiseerd, dat wil zeggen dat in de definitieve situatie gebruik wordt gemaakt van de waterremmende eigenschappen van een diepe afsluitende laag, door de wanden van de garage tot in deze laag door te zetten en zo een waterremmende kuip te maken. Het toestromende overschot aan water wordt vervolgens weggemalen. In het referentieontwerp wordt echter uitgegaan van een veilige optie op basis van een dichte betonvloer (met trekelementen). Wanneer tijdens de bouw van de garage de doorlatendheid van de diepe waterremmende laag daadwerkelijk meevalt, kan besloten worden om de betonvloer alsnog te laten vervallen en de poldergaragevariant uit te voeren.

Observational Method

Bij het realiseren van (bouw)projecten in of met de ondergrond staan Europese normen[31] het gebruik van de *Observational Method* toe. Het karakter van deze methode is in overeenstemming met het voorzorgsbeginsel. Er staat (European Committee for Standardization, 2004):

- *The complexity of interaction between the ground and the retaining structure sometimes makes it difficult to design a retaining structure in detail before the actual execution begins.*
- *When prediction of geotechnical behaviour is difficult, it can be appropriate to apply the approach known as the Observational Method, in which the design is reviewed during the construction.*

Bij de start wordt uitgegaan van een ontwerp met een bepaalde mate van flexibiliteit waarbij alle bedenkbare onzekerheden en risico's met voldoende marge (risicoanalyse) zijn veiliggesteld en het ontwerp als zodanig aan de vigerende (bouw)norm voldoet. Uiteindelijk is dat meestal een beleidsmatige of politieke keuze, die rekening houdt met de beleving. De *Observational Method* staat toe dat met behulp van adequate en doelgerichte observatie (monitoren) tijdens de realisatie van het bouwproject volgens een vooraf vastgestelde procedure één of meerdere aannames in het ontwerp kunnen worden bijgesteld, met als doel op kosten en bouwtijd te besparen, waarbij de veiligheid en kwaliteit gegarandeerd blijft. Het behaalde voordeel kan volgens een vóóraf vastgestelde overeenkomst onder de betrokkenen worden verdeeld.

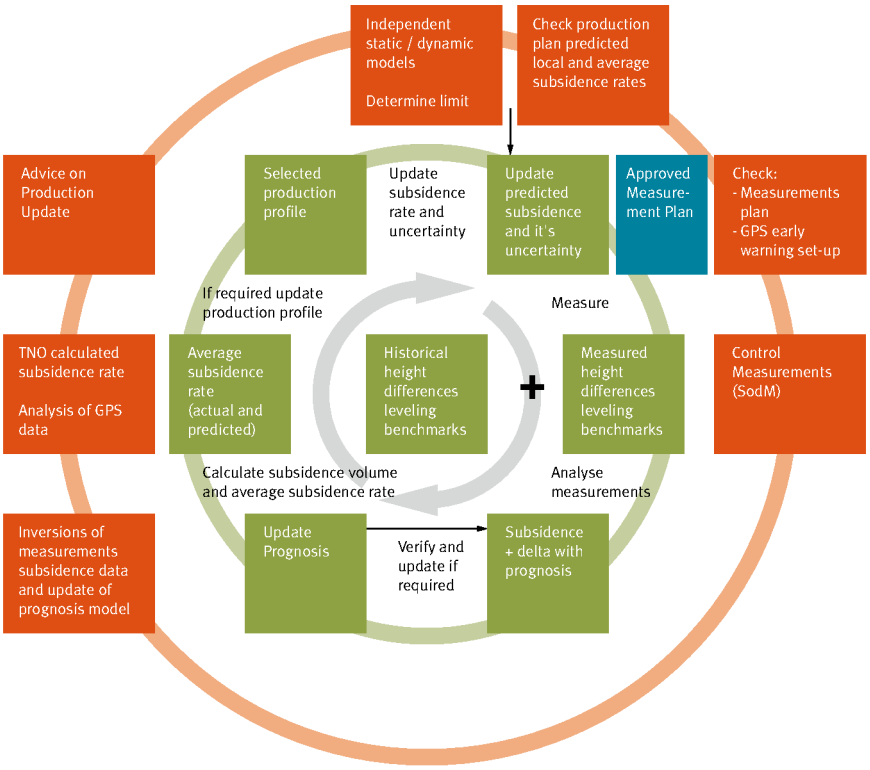
Risico's worden niet vermeden, maar worden bewust en gecontroleerd genomen.

Hand-aan-de-kraan

Om schade en ongewenste effecten aan de omgeving (bodemdaling) bij delfstofwinning en ondergrondse (gas)opslag te voorkomen, wordt het principe van Hand-aan-de-kraan gehanteerd, dat ad hoc is geregeld via een speciaal voor het project ontworpen meet- en regelprotocol. Door dit van te voren vast te leggen wordt transparantie verkregen, wat bijdraagt aan het creëren van draagvlak. Het karakter van deze methode is in overeenstemming met het voorzorgsbeginsel. Voor een specifiek gebied wordt vooraf aan een kritieke parameter (bijvoorbeeld de dalingssnelheid) een grenswaarde gesteld, waarbij op wetenschappelijke wijze is aangetoond dat de dynamiek van de natuur voldoende veerkracht biedt

31 *Europese normen voor de bouwsector staat in zogenoemde Eurocodes. Eurocodes bevatten normen voor het toetsen van bouwconstructies zoals bijvoorbeeld gebouwen, bruggen en torens. Eurocode 7 is een norm voor geotechnische ontwerpen. Eurocodes worden opgesteld door CEN (Comité Européen de Normalisation), zie voor meer informatie* www.eurocodes.nl.

om door delfstofwinning geïnduceerde effecten op natuurlijke wijze (autonoom) te compenseren. De mijnbouwonderneming exploiteert vervolgens zodanig dat de teweeggebrachte dalingssnelheid voldoende marge houdt ten opzichte van de grenswaarde en staaft dit voortdurend met de resultaten van een geaccordeerd meetplan (naar bodemdaling als effect) en monitoringsplan (gericht op de eventuele gevolgen voor het ecosysteem). Indien de toegestane marge dreigt te worden overschreden, wordt het productieprogramma in evenredigheid gereduceerd (Hand-aan-de-kraan). De overheid (Staatstoezicht op de Mijnen) controleert. Dit principe staat afgebeeld in figuur 15. In feite is dit ook een soort toepassing van de *Observational Method*.



Figuur 15. Een schematische weergave van het Hand-aan-de-kraan principe. Volgordelijkheid van handelingen is van binnen naar buiten. De cycli worden jaarlijks doorlopen. Activiteiten en op te leveren producten door de gebruiker staan aangegeven in groen en blauw. Activiteiten en producten van het Staatstoezicht op de Mijnen en TNO staan aangegeven in rood (De Waal, 2012).

Monitoren, karakteriseren en modelleren

Monitoren, karakteriseren en modelleren zijn belangrijke hulpmiddelen om effecten en gevolgen te ontdekken, te leren kennen en te voorspellen, en van daaruit effecten te beheersen en ongewenste effecten te voorkomen. De afweging om een bepaald gebruik van de ondergrond toe te laten kan afhankelijk worden gesteld van de implementatie van een adequaat beheersproces, waar een uitgebreide monitoringsverplichting een belangrijk element van is[32]. Een monitoringsverplichting kan worden opgenomen in een vergunning. Bij bijvoorbeeld bouwwerkzaamheden en mijnbouwactiviteiten worden vergaande monitoringseisen gesteld. Belangrijk daarbij is het vaststellen van actiewaarden en de daarbij behorende beheersmaatregelen (bijvoorbeeld het aanpassen van productie).

Om de gevolgen op termijn te leren kennen is het van belang om voorspellend vermogen te ontwikkelen. Door te monitoren en de monitoringsgegevens te combineren met bestaande kennis, kunnen modellen ontwikkeld worden die inzicht geven in mogelijke gevolgen. De algemene aanpak hiertoe staat gegeven in Figuur 16. Deze figuur schetst het principe van risico-gebaseerd management of beheer. Merk hierbij op dat monitoring en evaluatie impliciet onderdeel zijn van de cyclus.

Voorzorgsprincipe gaat over hoe te handelen bij onzekerheden.

Er is onderscheid tussen monitoren en modelleren voor de korte termijn en karakteriseren en modelleren voor de lange termijn. Monitoren en modelleren voor de korte termijn zijn gericht op het kunnen ingrijpen in het (productie)proces. Deze vorm van monitoren wordt toegepast gedurende de duur van de toepassing (kan afhankelijk van het gebruik oplopen tot enkele tientallen jaren). Monitoren en modelleren voor de middellange termijn (tot circa 100 jaar) is gericht op het aanpassen van de toepassing anno nu, om bij te sturen op de gevolgen op middellange termijn. Bij deze vorm van monitoren moet er een partij zijn die nu de verantwoordelijkheid op zich kan nemen én praktisch kan ingrijpen op basis van nu te formuleren criteria. Vaak is dit de overheid.

32 *Zoals gebeurd is bij de afweging of gaswinning mocht plaatsvinden onder de Waddenzee. Het werd een 'ja' met een uitgebreide 'mits' die bestaat uit een palet aan monitoringseisen en milieu- en natuuronderzoek.*

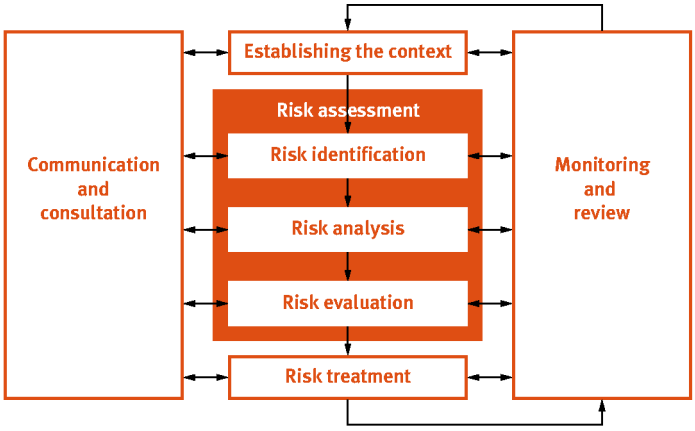
Het karakteriseren of verzamelen van gegevens om modelvoorspellingen op de lange termijn te doen (1000 jaar) is niet bedoeld om anno nu actief in te grijpen op een beheersproces. Dergelijke modelvoorspellingen worden vanuit verantwoordelijkheidsgevoel voor de toekomst gebruikt om aan te geven dat er ook op de zeer lange termijn geen ongewenste effecten of gevolgen verwacht worden. Dit gebeurt bijvoorbeeld in modelberekeningen voor de veiligheid van een ondergrondse opslag van radioactief afval. In deze modellen wordt tot een miljoen jaar vooruitgekeken om bijvoorbeeld de invloed van een ijstijd op de ondergrond te kunnen voorspellen.

Regie bij het omgaan met onzekerheden

Klassiek risicomanagement gaat gepaard met een grote hoeveelheid wetten en regels met een sterk normatief karakter en een veelvoud aan uitvoerende organisaties waaronder organisaties die gericht zijn op monitoren en toezicht. De regie is vaak in handen van veel verschillende organisaties. Elke inperking van risico beperkt echter ook de vrijheid van handelen en kost geld. Tevens is er veel ruimte om te handelen volgens het credo 'bij twijfel niet doen'. Tot op welk punt is een beperking van handelen nog evenredig met de te verwachte risico's en vanaf welk punt staat de beperking niet meer in verhouding en moet worden overgestapt op risico-gebaseerd beheer waarin structureel rekening wordt gehouden met onzekerheden?

Omgaan met onzekere risico's vraagt om een herbezinning op de verantwoordelijkheidsverdeling (WRR, 2008): verantwoordelijkheden overdragen aan de samenleving leidt tot een beperkte handelingsruimte voor de politiek. In vele gevallen moet worden vastgesteld dat herverdelen niet mag (van Europa), niet kan (vanwege beperkte capaciteiten van andere actoren om verantwoordelijkheid te dragen) of niet tot minder overheid leidt (vanwege toezicht en handhaving en het flankerende beleid dat noodzakelijk is).

Behalve voor het omgaan met risico's zijn eerder in dit rapport redenen gegeven waarom 'regie' een noodzakelijk onderdeel is van duurzaam gebruik van de ondergrond. Zie hiervoor hoofdstuk 6.



Figuur 16. Algemene opzet van risicogebaseerd beheer als cyclisch proces (http://www.tc.gc.ca/eng/civilaviation/opssvs/managementservices-referencecentre-documents-qua-qua-008-1355.htm).

Aandachtspunten bij het omgaan met onzekerheden

Omgaan met onzekerheden bij ondergrondse activiteiten is op dit moment degelijk uitgewerkt bij bouwen (GeoQ) en bij de winning van diepe delfstoffen. Bij andere vormen van gebruik van de ondergrond zoals WKO en grondwatersanering is het omgaan met onzekerheden niet uitgewerkt. De conclusie is dat de methodieken er wel zijn maar lang niet altijd worden toegepast en ook niet altijd juist worden toegepast.

Met onzekerheden bij gebruik van de ondergrond kan worden omgegaan door aan het gebruik onderzoeksvoorwaarden en monitoringseisen te koppelen. Deze dienen hun weerslag te hebben op het gebruik zelf. Dit vraagt om een koppeling van projectdoelstelling, actiewaarden voor effecten, meten en monitoren, gegevens interpreteren, evaluatie-instrument verbeteren (bijvoorbeeld een model kalibreren) en periodiek besluiten of ingrijpen. Methoden waarin dit wordt toegepast zijn Hand-aan-de-kraan en de *Observational Method*.

6 Regie

Uit de praktijkvoorbeelden (hoofdstuk 2) blijkt dat er behoefte bestaat aan regie bij projecten waarbij veel verschillende partijen (zowel marktpartijen als overheden) betrokken zijn. Zo was er bij Panorama Mesdag behoefte aan regie op afstemming van ontwerp en uitvoering evenals aansprakelijkheid. Bij de plannen voor een collectieve warmte- koudeopslag onder de Dam is er behoefte aan regie om partijen samen te brengen voor collectief gebruik. In het praktijkvoorbeeld geothermie is regie van belang om ongewenste interferentie met ander gebruik van de ondergrond, *in casu* olie- en gaswinning, te voorkomen. Kortom, door toenemende drukte in de ondergrond, door betrokkenheid van veel verschillende partijen, door groeiende kans op interferentie en doordat er rekening moet worden gehouden met meer onzekerheden, is er een roep om regie ontstaan. Meestal wordt ervan uitgegaan dat de overheid deze rol op zich neemt.

Regie door de overheid is gewenst voor het behartigen van publieke belangen[33]. De ondergrond is, naast lucht en water, een noodzakelijk compartiment in het menselijk bestaan. Mensen leven erop en ervan. De voorraad ondergrond is beperkt. De noodzakelijkheid en de schaarste maken het duurzaam gebruik van ondergrond tot een publiek belang. Centrale overheidsregie draagt eraan bij dat algemene maatschappelijke belangen bij decentrale besluitvorming niet door versnippering uit het oog verloren worden. Tevens is overheidsregie nodig als effecten en gevolgen[34] van gebruik van de ondergrond gemeente-, provincie- en/of landsgrensoverschrijdend zijn. Regie door de overheid zal ook nodig zijn voor enkele vormen van gebruik van de ondergrond die bijdragen aan rijksoverheidsdoelstellingen die slechts op specifieke plekken mogelijk is, zoals CO_2 opslag.

---

33 *Van een publiek belang is sprake wanneer de overheid zich de behartiging van een maatschappelijk belang aantrekt op grond van de overtuiging dat dit belang anders niet goed tot zijn recht komt. (bron: Het borgen van publiek belang, 2000, WRR, Den Haag).*

34 *Gebruik van de ondergrond gaat gepaard met effecten. Veel van deze effecten zijn bedoelde effecten en zijn onderdeel van het gebruik, zoals de hogere temperatuur van het grondwater in de warmtebel van een WKO. De veranderingen in de bodem als gevolg van bijvoorbeeld dit warmere grondwater worden door de TCB aangemerkt als 'gevolgen'.*

De overheid heeft verschillende soorten instrumenten tot haar beschikking om regie te voeren.

- juridische instrumenten (verboden, voorschriften, ordening);
- economische sturingsinstrumenten (stimulerende prikkels als subsidie, belastingvoordeel en schadevergoeding of juist remmende prikkels in de vorm van heffingen en belastingen);
- communicatieve sturing (bewustwording door voorlichting en educatie).

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op regie door de overheid en hoe regie kan bijdragen aan duurzaam gebruik van de ondergrond.

Regie en sturing door de overheid

Veel vormen van gebruik van de ondergrond zijn vergunningplichtig. Afhankelijk van het gebruik en de diepte waarop is de vergunningverlenende instantie de gemeente, provincie, waterschap of rijksoverheid. Vergunningaanvragen worden onafhankelijk van elkaar en in principe op volgorde van binnenkomst behandeld (wie het eerst komt, het eerst maalt). De vergunningen worden getoetst aan allerlei vooraf bepaalde eisen waaronder bijvoorbeeld bouwtechnische, milieuhygiënische en veiligheidseisen evenals financiële garanties. Het gebruik van de ondergrond wordt daardoor in belangrijke mate bepaald door de vraag ernaar. Bij deze vraaggestuurde vorm van beheer van de ondergrond ontbreekt het aan sturingsmogelijkheden. Er kan niet gestuurd worden op waar een gebruik het meest wenselijk is en er kan slechts beperkt gestuurd worden (door financiële prikkels) in de richting van het meest wenselijke gebruik. Voor de ontwikkeling van duurzaam gebruik van de ondergrond hebben overheden meer sturingsmogelijkheden nodig.

> *Sturingsmogelijkheden om vraag en aanbod op elkaar te afstemmen en om te sturen op het meest wenselijke gebruik.*

Beleid voor duurzaam gebruik van de ondergrond moet overheden sturingsmogelijkheden geven op gewenste gebruiksvormen en planmatig benutten en beschermen van de ondergrond. Om dergelijk beleid vorm te geven is antwoord nodig op de vragen ‘Wat kan waar?’ en ‘Waar is wat gewenst?’. Wat kan waar, verwijst naar welke functies ondersteund worden door de eigenschappen van de

ondergrond (het aanbod of de voorraad). Waar wat gewenst is, blijkt uit vergunningaanvragen of uit de geformuleerde ambities van de overheid om ondergrond te benutten (de vraag). De sturingsmogelijkheden dienen om vraag en aanbod op elkaar te kunnen afstemmen en om te kunnen sturen op het meest wenselijke gebruik.

Voorraadgestuurd beheer

Er zijn toepassingsmogelijkheden voor zogeheten voorraadgestuurd beheer van de ondergrond. Daartoe dient een beleidsmatige raming beschikbaar te zijn van het verwachte/gewenste gebruik. Met een voorraad wordt hier een bepaald gedeelte van de ondergrond bedoeld dat een gewenste kwaliteit (bijvoorbeeld voor drinkwaterwinning) of gebruiksmogelijkheid (bijvoorbeeld geothermie) heeft. Het past binnen duurzaam gebruik van de ondergrond dat gebruik van de ondergrond is afgestemd op de eigenschappen van de ondergrond en de mogelijkheden die dat biedt. Door de voorraad als basis te nemen van het beheer wordt uitgegaan van de schaarste van (diensten van) de ondergrond. Voorraadgestuurd beheer draagt bij aan het in stand houden van de verschillende gebruiksmogelijkheden van de ondergrond en daarmee aan de duurzaamheid van het gebruik. Hierbij is echter ook de vraag naar een bepaalde dienst belangrijk.

Op basis van voorraadgestuurd beheer kan prioriteit worden gegeven aan schaarse of exclusieve diensten van de ondergrond zoals locaties voor CO_2-opslag of opslag van afvalstoffen. Een dergelijke prioritering kan gemaakt worden aan de hand van een afwegingskader waarin wordt aangegeven welk gebruik prevaleert boven ander gebruik in het licht van de door de overheid aangemerkte maatschappelijke belangen (en daarmee aan verandering onderhevig is). Onderdeel van een dergelijk afwegingskader kan een prioritering bij schaarste zijn, vergelijkbaar met de landelijke verdringingsreeks bij waterschaarste die is opgesteld door Rijkswaterstaat (Kamerstuk 27625, nr. 212, vergaderjaar 2010-2011) (zie figuur 17). Deze verdringingsreeks is opgesteld om op voorhand duidelijkheid te geven over de verdeling van het door het rijk beheerde oppervlaktewater over de verschillende watervragers in tijden van tekorten. De opstellers zijn daarbij geholpen door de prioritering die de wetgever al meegaf in de vroegere Grondwaterwet. Daarin oordeelde de wetgever dat het schaarse grondwater zoveel mogelijk ter beschikking moet komen voor doeleinden waarvoor het gebruik van het water essentieel is zoals drinkwatervoorziening en bepaalde industriële onttrekkingen. De regionale waterbeheerders kunnen op basis van deze landelijke prioritering een regionale verdringingsreeks opstellen.

Categorie 1	Categorie 2	Categorie 3	Categorie 4
Veiligheid en voorkomen van onomkeerbare schade	Nutsvoorzieningen	Kleinschalig hoog-waardig gebruik	Overige belangen (economische maat-schappelijke afweging)
- stabiliteit van waterkeringen - klink en zetting (veen en hoogveen) - natuur (gebonden aan bodemgesteldheid)	- drinkwater-voorziening - energievoorziening	- tijdelijk beregening kapitaalintensieve gewassen - proceswater	- scheepvaart - landbouw - natuur (zolang geen onomkeerbare schade optreedt) - industrie - waterrecreactie - binnenvisserij - overige functies
gaat voor ⇢	gaat voor ⇢	gaat voor ⇢	

Binnen categorie 1 en 2 is sprake van een prioriteitsvolgorde. Binnen de categorieën 3 en 4 vindt onderlinge prioritering plaats gericht op zo min mogelijk economische maatschappelijke schade.

Figuur 17. Landelijke verdringingsreeks bij (oppervlakte)waterschaarste (Rijkswaterstaat, 2010).

Een afwegingskader of verdringingsreeks zal rekening moeten houden met de elementen van duurzaamheid zoals die in hoofdstuk 3 genoemd zijn: efficiënte, langdurige en optimale benutting van de ondergrond voor een maatschappelijk belang heeft voorkeur boven minder efficiënte of kortdurende benuttingen. Tevens dient het afwegingskader er in te voorzien dat schaarse mogelijkheden voorrang hebben op veelvoorkomende mogelijkheden. Door rekening te houden met de juridische zorgplicht[35] in het afwegingskader wordt invulling gegeven aan bescherming van de ondergrond.

Meer recent heeft de provincie Drenthe haar Structuurvisie gepubliceerd, waarin ook een 'ladder' van prioriteiten is opgenomen (Provincie Drenthe, 2010). In dit geval kon niet worden teruggevallen op regelgeving (die is in ontwikkeling).

Naast een beheerstrategie en een afwegingskader voor rijksbelangen heeft de overheid instrumenten nodig om voorraadgestuurd beheer te kunnen effectueren.

35 *Preventiebeginsel, beginsel van bestrijding aan de bron en het ALARA-beginsel, zie hoofdstuk 3.*

Juridische instrumenten

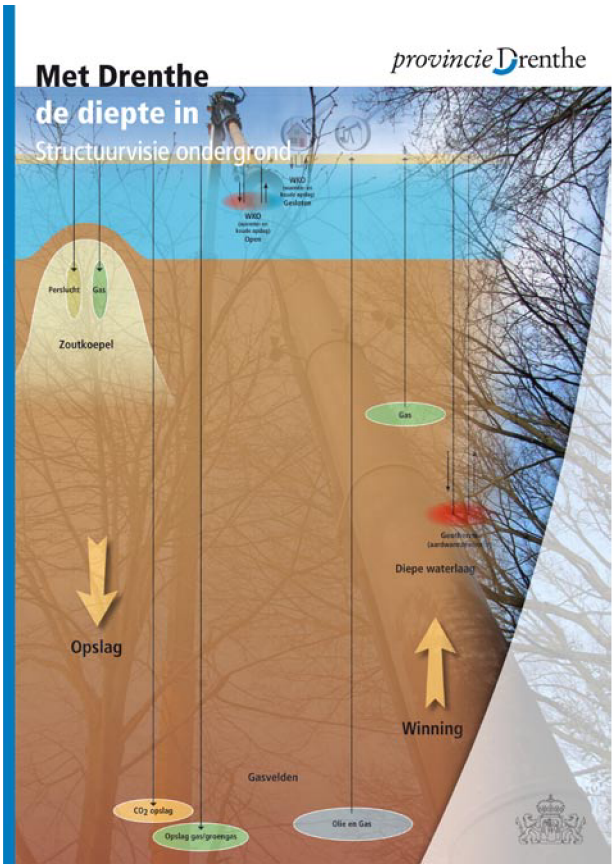
Ruimtelijke ordening

De mogelijkheid om overheden ondergrond te laten reserveren die geschikt is voor een bepaald gebruik[36] draagt bij aan duurzaam gebruik van de ondergrond. Gedacht kan worden aan gebieden voor drinkwaterwinning of aan schaars voorkomende gebieden of locaties waarvoor eenmalig een onomkeerbare gebruiksmogelijkheid wordt bedacht (zoals CO_2-opslag in lege gasvelden). Door reserveringen kan worden voorkomen dat schaarse voorraden verloren gaan doordat een ander (bovengronds of ondergronds) gebruik in de weg zit. Instrumenten die een dergelijke reservering het meest benaderen zijn de ruimtelijke ordeningsinstrumenten. Naast het reserveren van schaarse voorraden bleek uit het praktijkvoorbeeld warmte- koudeopslag onder de Dam dat door middel van ordening van systemen (maar vooral ook het collectief gebruik) er een efficiëntievoordeel gehaald kon worden. Het benutten van het ruimtelijk ordeningsinstrumentarium kan dus bijdragen aan duurzaam gebruik van de ondergrond doordat ermee gestuurd kan worden op zowel de gewenste vormen van gebruik en op de locaties waar een bepaald gebruik plaatsvindt.

Sommige vormen van gebruik van de ondergrond leiden tot ongewenste bodembeweging (peilaanpassing in veenpolders, winning van delfstoffen) met gevolgen voor veiligheid tegen overstroming, regionale hydrologieverstoring, disfunctioneren van riolen en schade aan bebouwing waaronder waardevolle monumenten. Voor de juiste inschatting van schadeclaims is een voldoende nauwkeurige oorzaakanalyse noodzakelijk. Wetten en jurisprudentie geven het wettelijk kader aan waarbinnen schade en herstel kan worden afgehandeld. Er is echter een discrepantie tussen wetenschappelijk inzicht en wettelijke regels en vaak ook met de publieke opinie. Soms is deze zo groot dat *common sense* verloren gaat en dit leidt tot frustratie van alle betrokkenen (Barends, 2000).

Afhankelijk van het te dienen maatschappelijk belang, de diepte waarop het gebruik plaatsvindt en de reikwijdte van eventuele gevolgen van het gebruik kan de verantwoordelijkheid voor een inventarisatie van gebruiksmogelijkheden en ondergrondse ordening worden toebedeeld aan verschillende overheden (rijk, provincie en gemeente). Er is geen juridische grondslag op basis waarvan een verdeling gemaakt kan worden in welke belangen behoren tot het Rijk, de provincie of de gemeente. Bij gebruik van de ondergrond is net als bij andere ruimtelijke kwesties, vaak sprake van een gedeeld belang (Gier, 2010).

36 *Een dergelijke reservering hangt samen met een reële verwachting van vraag naar het gebruik.*



Figuur 18. Met Drenthe de diepte in; Structuurvisie ondergrond (provincie Drenthe, 2010).

Hoe groter het te dienen maatschappelijk belang is, hoe schaarser de mogelijkheden zijn en hoe groter de gevolgen (reikwijdte of ernst) van het gebruik zijn, hoe centraler ruimtelijke plannen moeten worden opgesteld om het publiek belang van duurzaam gebruik te kunnen dienen. Dergelijke planvorming komt tot stand in overleg en samenwerking met andere betrokken overheden. In structuurvisies van de rijksoverheid kan het rijksbeleid verhelderd worden ten aanzien van gebruik van de ondergrond, zodat andere overheden hier rekening mee kunnen houden. Naast het opstellen van structuurvisies voor de ondergrond worden de mogelijkheden voor het opstellen van bestemmingsplannen voor de ondergrond onderzocht. Schaarste van de ondergrond en behoefte aan ruimtelijke sturing (locatiekeuze) zijn redenen om deze bestemmingsplannen te willen maken.

Het is niet eenvoudig om een wet die van oorsprong geschreven is voor ordening van de bovengrond onverkort ook toe te passen op ordening van de ondergrond. Zo beperkt het juridisch 'bestemmen' de flexibiliteit op 'schuiven' met ruimtelijke ontwikkelingen in de ondergrond. Zolang er nog niet bestemd is, is in principe alle gebruik nog mogelijk. Tevens overzien ruimtelijke ordeningsplannen (structuurvisie en bestemmingsplannen) een periode van maximaal tien jaar. Formeel juridisch betekent dit dat alleen ruimtelijke ontwikkelingen opgenomen

Met het hanteerbaar maken van deze juridische beginselen heeft de overheid het gereedschap in handen hebben om invulling te geven aan duurzaam gebruik van de ondergrond.

mogen worden waarvan aannemelijk is dat ze binnen de planperiode van tien jaar realiseerbaar zijn. Gebruik van de ondergrond, vooral als dit een schaars voorkomende mogelijkheid betreft of gebruik dat aan maatschappelijke discussie onderhevig is (zoals CO_2-opslag of opslag van radioactief afval), kan soms niet binnen een dergelijke planperiode gerealiseerd zijn. Voor dergelijk gebruik kan er behoefte bestaan om bestemmingen te leggen op de ondergrond die pas na de planperiode gerealiseerd zullen worden[37]. Op die manier kan voorkomen worden dat er in de tussenliggende periode ander gebruik van de ondergrond komt dat duurzaam gebruik in de weg zit.

Actiewaarden in de risicobenadering

In hoofdstuk 5 is een risicobenadering beschreven waarbij het voorzorgbeginsel expliciet is opgenomen in de toedeling van verantwoordelijkheden. Deze risicobenadering gaat er vanuit dat risico's bewust genomen worden om doordat ze zijn omkleed met alle mogelijke voorzorgsmaatregelen. Op die manier worden risico's geïdentificeerd en onzekerheden verkend. Dit betekent dat er beleid kan worden geformuleerd waarin risicobeheersingsmethoden worden geïntroduceerd.

37 *De uitspraak van de afdeling Bestuursrechtspraak van de Raad van State, 4 november 2009, nr. 200900671/1/R1 biedt hiertoe opening: bij de goedkeuring van het bestemmingsplan Maasvlakte 2, acht de afdeling dat 'in dit uitzonderlijke geval' bestemmingen kunnen worden opgenomen waarvan vaststaat dat zij gedeeltelijk niet binnen de planperiode zullen worden gerealiseerd. Gepubliceerd in AB 2010, nr. 114, met noot mr. A.A.J. de Gier.*

Een risicobeheersingsmethode bevat naast veiligheids-, onderzoeks- en monitoringseisen ook zogenoemde 'actiewaarden' of 'grenswaarden'. Actiewaarden of grenswaarden worden vastgesteld voor effecten waarvan men op voorhand niet met zekerheid kan aangeven hoe groot die zullen zijn. Een actiewaarde wordt vastgesteld op een punt waarna de gevolgen niet meer goed voorspelbaar zijn maar ingrijpen nog wel mogelijk is. Dergelijke actiewaarden kunnen in overleg worden vastgesteld. In het praktijkvoorbeeld zoutwinning (hoofdstuk 2) is de actiewaarde voor de maximale toelaatbare bodemdaling bijvoorbeeld vastgesteld in overleg met waterbeheerders en gebaseerd op de waterhuishouding en de dijkbewaking.

Risicogebaseerd beheer met voorafgaand aan het project vastgestelde actiewaarden wordt toegepast bij gebruik van de diepe ondergrond en kan als voorbeeld dienen voor te ontwikkelen risicogebaseerd beheer bij gebruik van ondiepere ondergrond. Bij gebruik van de ondiepe ondergrond worden vaak wel monitoringseisen gesteld. Ook gelden er juridische normen voor bijvoorbeeld maximale temperatuur of maximale concentraties van stoffen. Deze normen en monitoringseisen bestaan naast elkaar en zijn veelal niet aan elkaar gekoppeld door bijvoorbeeld vast te leggen wie op welke manier ingrijpt om te voorkomen dat normen overschreden worden. In risicogebaseerd beheer dienen normen en monitoringseisen gekoppeld te worden door technische actiewaarden die duidelijkheid geven over wie, wanneer en op welke manier ingrijpt (*closed loop monitoring*). Een vertaling van normen naar actiewaarden is een voorwaarde om op een verantwoordelijke manier risicogebaseerd beheer te introduceren. Daarbij geldt tevens dat risicogebaseerd beheer alleen van toepassing kan zijn op processen waarin ingrijpen mogelijk is en de effecten of gevolgen door dat ingrijpen ook geremd worden of omkeerbaar zijn.

Elementen van duurzaamheid: efficiënt, langdurig, optimaal en maatschappelijk relevant.

Financieel-economische sturing

Heffingen

De ondergrond is een schaars goed en vertegenwoordigt een economische waarde. Alleen al vanuit die basisgedachte is het denkbaar dat gebruikers van de ondergrond daarvoor een vergoeding moeten betalen aan de overheid. Een deel van de drukte in de ondergrond wordt bijvoorbeeld veroorzaakt door toename in privaat gebruik voor bijvoorbeeld warmte- koudeopslag en grondwaterwinning voor beregening van gewassen. Private partijen halen op die manier voordeel uit het gebruik van de ondergrond terwijl tevens het door hun gebruikte deel van de ondergrond niet door anderen gebruikt kan worden (inclusief de samenleving als geheel). Het voordeel dat de private partij behaaldt, wordt met andere woorden onttrokken aan mogelijkheden voor gemeenschappelijk gebruik. De waarde van de ondergrond op een bepaalde locatie voor een bepaald gebruik kan gemonetariseerd worden en kan als grondslag dienen voor verschillende belastingheffingen[38]. Opbrengsten uit deze heffingen kunnen enerzijds gebruikt worden voor het financieren van collectieve goederen en diensten (budgettaire functie). Op die manier komt privaat voordeel, dat met het gebruik van de ondergrond behaald is, weer ten goede aan de samenleving. Anderzijds bieden heffingen mogelijkheden om te sturen in de richting van gewenste duurzame vormen van gebruik van de ondergrond.

Subsidie

Van een andere orde is het geven van subsidies op verschillende vormen van gebruik van de ondergrond. Subsidies stimuleren het gebruik van de ondergrond. Duurzaam gebruik van de ondergrond vraagt echter niet om grote aantallen toepassingen, maar juist om toepassingen die de kwalitatieve elementen van duurzaamheid in zich dragen (efficiënt, langdurig, optimaal en maatschappelijk relevant). Subsidie aan particulieren of marktpartijen leent zich daar niet goed voor. Subsidie op onderzoek of kennisontwikkeling kan echter de innovatie en ontwikkeling van duurzame toepassingen versnellen. Een uitgekiende stimuleringsregeling van de overheid hierop zou een strategisch onderdeel kunnen zijn van overheidsregie.

38 *Leges, precario, concessierechten en erfpacht ('ondergrondpacht') zijn voorbeelden van heffingen die op gebruik van de ondergrond zouden kunnen worden toegepast.*

Figuur 19. Impact is gelijk aan risico maal perceptie (foto Persbureau Noordoost).

Communicatie

Zowel het ontwikkelen van kennis over gebruik van de ondergrond als ook het delen van deze kennis zijn belangrijke elementen voor een duurzame ontwikkeling. Het belang van communicatie en delen van kennis begint in de onderzoeksfase waardoor iedere onderzoeker gebruik kan maken en kan voortborduren op al behaalde resultaten. In de toepassing en het gebruik van de ondergrond leidt het delen van praktische kennis tot steeds kostenefficiëntere projecten en projectstructuren. Overheden kunnen op hun beurt kennis en ervaring delen waar het gaat om het opstellen van beleidsstukken, structuurvisies of juridische randvoorwaarden.

Het kabinet ziet het voorzorgsbeginsel als een strategie om met onzekerheden om te gaan (VROM, 2009b). Deze strategie behelst het vooraf mobiliseren van de samenleving bij besluiten met veel onzekerheid of maatschappelijke contro-

verse en zorgen daarover serieus te nemen, alternatieven te verkennen, onzekerheden op basis van ieders kennis en ervaring in kaart te brengen en publiekelijk verantwoording af te leggen. In deze strategie klinkt een grote rol voor communicatie met burgers die gericht is op het verkrijgen van een gedeeld beeld over het project en de onzekerheden.

Figuur 20. Impact is gelijk aan risico maal perceptie (bron: NAM).

Uit de praktijkvoorbeelden in hoofdstuk 2 blijkt dat inspraakprocedures en rechtsbescherming een cruciaal punt in een project kunnen zijn. De burger is mondiger, de situaties worden complexer en er is minder ruimte en vertrouwen voor specialisten. Door de toenemende beschikbaarheid en omloopsnelheid van informatie spreken specialisten elkaar ook geregeld tegen, wat zowel voor de burger als voor een rechter die uitspraak moet doen uitermate verwarrend is. Daarbij moet de burger leren accepteren dat risico's niet tot nul gereduceerd kunnen worden. Actiewaarden en *closed loop monitoring* bij risico-gebaseerd beheer kunnen helpen om ook burgers te leren omgaan met onzekerheden.

Innovatie

Het is zaak om innovaties in aanpak en beleid samen met alle stakeholders te organiseren (participatieve open innovatie) en de waarde ervan voor de samen-leving tijdig en open te communiceren. Participatieve open innovatie vergt samenwerking over de grenzen van disciplines en organisaties heen en vereist betrokkenheid van de mensen die de innovatie moeten realiseren. Dit innovatieproces heeft vijf belangrijke kenmerken: multidisciplinair, participatief, open, iteratief en er wordt unieke kennis ingebracht (Vaas, 2011). Een dergelijk proces komt beter tot zijn recht bij risico-gebaseerd beheer en toepassing van risicobeheersingmethoden en *closed loop monitoring*. Ook in dit open proces speelt het het principe dat impact gelijk is aan risico maal perceptie. Communicatie zal zich naast de risico's richten op het schetsen van de juiste perceptie ervan en helpt om te leren omgaan met onzekerheden.

Conclusie

De rijksoverheid heeft verschillende instrumenten tot haar beschikking die ingezet kunnen worden om maatschappelijke belangen te behartigen en om te sturen op duurzaam gebruik van de ondergrond. Deze instrumenten zijn het koppelen van gebruik van de ondergrond aan ruimtelijke ordening, het reserveren van locaties met schaarse of strategische gebruiksmogelijkheden, introductie van risicobeheersingsmethoden met vaststelling van actiewaarden om tijdig in te kunnen grijpen, het heffen van belastingen op gebruik van de ondergrond en naast communicatie over de risico's ook te communiceren over de perceptie ervan om de impact te proportionaliseren. Juridische beginselen zoals zorgplicht en zorgvuldigheid kunnen hanteerbaar gemaakt worden door aan te geven wat er in ieder geval onder verstaan wordt (bijvoorbeeld het registreren van welke infrastructuur waar ligt). Met het hanteerbaar maken van deze beginselen heeft de overheid het gereedschap in handen hebben om invulling te geven aan duurzaam gebruik van de ondergrond. Omkleed met voorzorgsmaatregelen kunnen risico's bewust genomen worden en onzekerheden worden verkend.

7 Synthese en aanbevelingen

Aan de hand van een aantal praktijkvoorbeelden heeft de TCB-werkgroep Duurzaam Gebruik Ondergrond het 'speelveld' voor duurzaam gebruik van de ondergrond geschetst. Mede op basis van deze praktijkvoorbeelden zijn elementen uiteengezet voor het afwegen van duurzaam gebruik van de ondergrond, de technisch-inhoudelijke manieren om om te gaan met onzekerheden en de aspecten in de regie van duurzaam gebruik van de ondergrond. Dit hoofdstuk geeft een beknopte synthese van deze uiteenzettingen en bijbehorende aanbevelingen van de werkgroep.

Projectuitvoering

Als het gaat om het ondergrondse project zelf, dan zijn de kernbegrippen: 1. vooronderzoek, 2. opschaling/extrapolatie, 3. risicoschatting, 4. grenswaarden, 5. monitoren en 6. maatregelen. De vier laatste begrippen vallen samen onder het begrip *closed loop monitoring*.

Bij een 'ideaal' project dient er gedegen vooronderzoek plaats te vinden naar de eigenschappen van de ondergrond en de technische mogelijkheden om het project te realiseren. Hierbij is geregeld sprake van innovatie, opschaling en/of extrapolatie van het laboratorium, tekentafel of pilotproject en dient er een vertaalslag gemaakt te worden die veel aandacht behoeft. Voordat het project start, dienen onzekerheden veroorzaakt door de eigenschappen van de ondergrond zelf en de toepaste techniek en de daarmee gepaard gaande risico's in kaart te zijn gebracht.

Risico's van het gebruik van de ondergrond kunnen niet tot nul gereduceerd worden. Voor het gebruik van de ondiepe ondergrond kan volgens de werkgroep lering worden getrokken uit het risicogebaseerd beheer, zoals dat wordt toegepast bij gebruik van de diepe ondergrond (Hand-aan-de-kraan). Methodologisch is het risicogebaseerd beheer bij gebruik van de diepe ondergrond in algemene zin verder uitgewerkt dan bij de meeste vormen van gebruik van de ondiepe ondergrond. Belangrijk is dat risico's vroegtijdig gesignaleerd kunnen worden aan de hand van *closed loop monitoring* met actiewaarden, zodat er tijdig kan worden ingegrepen en escalatie wordt voorkomen.

Het project dient gebaseerd te zijn op de meest veilige manier van uitvoeren. Als gaandeweg de uitvoering blijkt dat de voorzorg overgedimensioneerd is dan kan de uitvoering vereenvoudigd worden (*Observational Method*). Voor de risico's worden relevante indicatoren gekozen, die in een monitoringsprogramma zijn opgenomen. Van te voren zijn actiewaarden vastgesteld voor deze indicatoren. Als de actiewaarden overschreden worden, dienen van te voren vastgestelde maatregelen te worden genomen. De werkgroep vindt dat begrippen uit het juridische kader voor werken in de ondergrond, zoals voorzorg, ALARA en *stand still* vertaald kunnen worden en dienen te worden opgenomen in de hiervoor genoemde actiewaarden.

Overheidsbeleid

Bij de bestuurlijke kant gaat het om 1. afweging, 2. ruimtelijke ordening, 3. voorraadbeheer, 4. voorzorg, 5. afspraken, 6. verantwoordelijkheden, 7. aansprakelijkheid en 8. regie.

Voor zowel afweging als de andere zeven genoemde bestuurlijke kernwoorden, wordt het als cruciaal ervaren dat er regie is. Het moet van te voren voor alle partijen duidelijk zijn welke opties er zijn, wie wat regelt, wie verantwoordelijk en aansprakelijk is voor wat en wie maatregelen moet nemen en/of aansprakelijk is als er iets anders loopt dan gepland. Omdat het gebruik van de ondergrond wordt gekoppeld aan maatschappelijke belangen ligt het voor de hand dat de overheid de regie ter hand neemt, dan wel zorgt dat de regie geregeld is. Het gaat tenslotte meestal om gebruik, effecten en gevolgen van en voor gemeenschappelijke goederen. De werkgroep constateert dat regie kan bijdragen aan duurzamer gebruik van de ondergrond en pleit ervoor dat juridische en economische instrumenten worden geïmplementeerd om dit nader vorm te geven. De werkgroep denkt dat het opstellen van voorkeursvolgorden voor de verschillende handelingsopties ('ladders') een goede manier is om het afwegen eenvoudiger te maken.

Aan het 'ideale' project gaat eerst een fase van afwegen vooraf. Voor het afwegen zijn de kernwoorden vraag en aanbod, consensus en consequenties van groot belang. De werkgroep denkt dan aan een inhoudelijk brede afweging, waarbij een groot aantal 'waarden' een rol spelen. Deze hebben betrekking op de kenmerken van het project zelf (basisgegevens en de geschiktheid van de ondergrond), op nut en noodzaak en de effecten en gevolgen van het project en eventuele alternatieven voor het project. De werkgroep denkt dat nut en noodzaak in de praktijk beter kunnen worden neergezet, waarbij op het relevante schaalniveau geredeneerd wordt vanuit 1. voorraden en de eventuele schaarste hierin en 2. de efficiëntie van het project ten opzichte van alternatieven. Als het gaat om verbruik van grondstoffen of het winnen van energie, dan dient voor de meest spaarzame opties gekozen te worden. In beide gevallen dienen bovengrondse alternatieven nadrukkelijk meegewogen te worden. Ruimtelijke ordening van ondergrondse activiteiten is nodig om onder andere interferentie van activiteiten te voorkomen. De werkgroep juicht het opstellen van structuurvisies op de ondergrond daarom toe en tekent aan dat ondergrondse bestemmingsplannen ook van nut zouden kunnen zijn.

Closed loop monitoring met actiewaarden, zodat er tijdig kan worden ingegrepen en escalatie wordt voorkomen.

De werkgroep vindt het koppelen van nut en noodzaak van ondergrondse projecten aan maatschappelijke opgaven een goede keuze, maar wijst erop dat de huidige maatschappelijke opgaven meer een prioritering zijn binnen de algemene maatschappelijke opgaven die voortdurend aandacht van de overheid behoeven (zorg voor schone lucht, drinkwater, voedsel, onderdak, infrastructuur en energie). Bij effecten en gevolgen pleit de werkgroep voor meer aandacht voor de factor tijd, vooral de lange-termijn gevolgen, hergebruik- en herstelmogelijkheden.

In het rapport worden verschillende afwegingsmethodieken besproken, die bruikbaar zijn voor een duurzaamheidsafweging van een gebruik van de ondergrond. Toch ligt er geen 'brede' afwegingsmethodiek klaar die als gereedschap voor duurzaam gebruik van de ondergrond gehanteerd kan worden. De werkgroep beveelt aan een dergelijke methodiek te ontwikkelen, in de vorm van een specifieke m.e.r.-achtige procedure voor gebruik van de ondergrond, waarin noodzaak, kansen (vraag en aanbod), risico's (effect en gevolg voor zowel milieu als maatschappij), baten, kosten en energiebalansen een rol spelen. De afwe-

ging zou kunnen bestaan uit geschakelde methoden met een stappenplan. De werkgroep pleit er voor om het begrip exergie ofwel netto energie als afwegingsmethodiek te hanteren bij in ieder geval gebruik van de ondergrond voor energiewinning en - opslag. Dit begrip geeft kwantitatief invulling aan duurzaam gebruik van de ondergrond.

Het gaat om gebruik, effecten en gevolgen van en voor gemeenschappelijke goederen.

De werkgroep vindt dat een duurzaamheidsafweging moet leiden tot keuzes voor efficiënte, veilige en zoveel mogelijk herbruikbare dan wel verwijderbare ondergrondse objecten, om zo de gebruiksmogelijkheden van de ondergrond voor de toekomst te garanderen. Als verwijdering niet mogelijk is, dan dient het project aan het einde van de levensfase met zo min mogelijk negatieve effecten buiten gebruik gesteld te worden. Het verantwoord achterlaten van installaties en de invulling van zorgplicht op de lange termijn zijn belangrijke punten, omdat vaak beloften en afspraken decennia lang moeten worden onthouden en nagekomen. Denk bijvoorbeeld aan bodembeweging in Zuid-Limburg: door het stopzetten van de grondwateronttrekking uit de mijnschachten, veert de bodem nu terug, wat ook weer bodembeweging en schachtinstorting kan veroorzaken. Gelden vroeger gemaakte afspraken over vergoeding van schade door bodembeweging als gevolg van mijnbouw in dit gebied, nu nog?

Het valt op dat de kernbegrippen voorzorg, afspraken, verantwoordelijkheden, en aansprakelijkheid niet zijn vastgesteld in meerdere onderdelen van de huidige regelgeving. Dit leidt in de praktijk tot onder andere langslepende (juridische) conflicten als er sprake is van onverwachte schade en negatieve publiciteit. Risico's bij gebruik van de ondergrond kunnen niet tot nul worden gereduceerd. De werkgroep merkt hierbij op dat de afhandeling van onverwachte gebeurtenissen bij duurzaam gebruik van de ondergrond hierbij wel op herkenbare, transparante wijze geregeld zou moeten zijn.

Tot slot

Voorjaar 2011 adviseerde de TCB op verzoek van het ministerie van Infrastructuur en Milieu (IenM) over elementen voor duurzaam gebruik van de ondergrond (TCB, 2011) en de vertaling daarvan in handvatten waarmee de decentrale overheden hun beleid kunnen vormgeven, in lijn met het rijksbeleid. Voor haar advies heeft de TCB geput uit de bevindingen van de werkgroep, zoals die zijn neergelegd in dit rapport.

Naast de reeds door het ministerie geformuleerde handvatten heeft de TCB in haar advies de volgende elementen van belang voor duurzaam gebruik van de ondergrond genoemd:

- Regie en sturing door rijksoverheid. 'Voorraadgestuurd beheer' kan als sturingsfilosofie worden gebruikt bij duurzaam gebruik van de ondergrond. Door het gedeelte van de ondergrond dat geschikt is voor een bepaald gebruik (de voorraad) als basis te nemen van het beheer wordt uitgegaan van de schaarste van (diensten van) de ondergrond. Koppeling aan de ruimtelijke ordening is de belangrijkste manier om regie te voeren. Een plan waarin wordt aangegeven welk gebruik waar mag plaatsvinden is op zowel rijks-, provinciaal- als gemeentelijk niveau van belang. De onomkeerbaarheid van "wie het eerst haalt, het eerst maalt" wordt zo voorkomen.
- Heffing op gebruik van de ondergrond door private partijen. Veel functies van bodem en ondergrond kunnen worden gezien als gemeenschappelijk of collectief eigendom. Om die reden moet in overweging worden genomen om voor privaat gebruik van de ondergrond heffingen in te zetten naar analogie van erfpacht.
- Nuttig gebruik van de ondergrond op lange termijn. De mogelijkheden en de gevolgen van gebruik van de ondergrond op lange termijn moeten een plaats krijgen in de afweging. Het uitgangspunt dat gebruik van de ondergrond overwegend eenmalig en onomkeerbaar is, dwingt tot een zorgvuldige afweging en goede onderbouwing van gebruik van de ondergrond. Dit uitgangspunt vormt ook een argument om gronden te reserveren voor strategische doeleinden of voor toekomstig gebruik (bijvoorbeeld drinkwaterwinning).

De werkgroep hoopt een bijdrage te hebben geleverd aan de advisering van de TCB en verwacht dat het gedachtegoed van de werkgroep ook in de toekomst zijn weg zal vinden in het ontwikkelen van duurzaam gebruik van de ondergrond. Het rapport kan bijdragen aan het tot stand komen van de Structuurvisie Ondergrond en van het Afwegingskader Ondergrond, die beiden in voorbereiding zijn.

8 Literatuur

Arcadis, 2010, Milieu-effecten continuering van de zoutwinning noord-west Fryslân. Arcadis rapport 9 juli 2010, opgesteld in opdracht van Frisia Zout bv.

Ayres, R.U., 1997, Eco-thermodynamics: economics and the second law, Ecological economics, 26, pp. 189-209.

Barends, F.B.J., 2011, Grondgedachten, Afscheidsrede TU Delft.

Barends, F.B.J., 2009, Over onzekerheid en duurzaamheid in de geotechniek. Keverling Buisman Lecture, 60 year Jubilee KIVI-Geo, Geotechniek Special, p. 28-33.

Barends, F.B.J., 2000, Land subsidence legal affairs against technical know-how. Proceedings 6th International Symposium on Land Subsidence, Ravenna, SISOLS2000, CNR, Vol I, p. 345-352.

Borja, A. and D.M. Dauer, 2008, Assessing the environmental quality status in estuarine and coastal systems: comparing methodologies and indices. Ecological Indicators, 8(4):331-337, 2008.

Breunese, J.N., van Eijs, R.M.H.E., de Meer, S. en Kroon, I.C., 2003, Observation and prediction of the relation between salt creep and land subsidence in solution mining. The Barradeel case. Solution Mining Research Institute (SMRI) Richmond, Texas, USA: SMRI.

Bruining, H., 2008, Laboratory experiments and modeling for remediation against the non-sustainable society, Inaugural speech TU-Delft.

Caljé, R.J., 2010, Future use of Aquifer Thermal Energy Storage below the historic centre of Amsterdam. TU Delft, Waternet, Delft.

Chen, B. and Chen, G.Q., 2007, Modified ecological footprint accounting and analysis based on embodied exergy; a case study of the Chinese society 1981, Ecological Economics, 61(2-3):355-376.

Cornelissen, R.L., 1997, Thermodynamics and sustainable development: the use of exergy analysis and the reduction of irreversibility. PhD dissertation, The University of Twente, Enschede, The Netherlands.

Creyts, J.C. and Carey, V.P., 1998, Use of extended exergy analysis to evaluate the environmental performance of machining processes. Proc Instn Mech Engrs, 213 (Part E), pp 247-264.

MacKay, D.J.C., 2008, Sustainable energy - without the hot air, ISBN 978-09544529-3-3, UIT Cambridge Ltd.

De Swaan Arons, J., Van der Kooi, H.J., Sankaranarayanan, K., 2004, Efficiency and sustainability in the energy and chemical industries, ISBN: 0-8247-0845-8.

Delucchi, M.A. 2003, Lifecycle Emissions Model (LEM): Lifecycle Emissions from Transportation Fuels, Motor Vehicles, Transportation Modes, Electricity Use, Heating and Cooking Fuels, and Materials. UCD-ITS-RR-03-17, eScholarship Repository, University of California, Berkeley, CA, http://repositories.cdlib.org.

Deskundigencommissie zandwinputten, 2009, Verantwoord grootschalig toepassen van grond en baggerspecie. Rapport van de deskundigencommissie zandwinputten.

Dewulf, J., Van Langenhove, H., Mulder, J., Van den Berg, M.M.D., Van der Kooi, H.J., and de Swaan Arons, J., 2000, Illustrations towards quantifying the sustainability of technology, Green Chemistry, 2, pp 108-114.

Dincer I and Rosen,M.A., 2007, Exergy: Energy, Environment and Sustainable Development, Elsevier, ISBN 0080445292.

Eftekhari A.A., Bruining, H., and Van der Kooi, H.J.,2011, Exergy analysis of underground coal gasification with simultaneous storage of carbon dioxide, (submitted to Energy).

Ellis, D.E., and Hadley, P.W, 2009, Sustainable Remediation White Paper – Integrating Sustainable Principles, Practices, and Metrics InTo Remediation Projects. Remediation, summer 2009, p. 5 – 114.

European Committee for Standardisation, CEN Eurocode 7, (2004) prEN 1997-1:2004(E), sectie 2.7 en 9.4.

Frisia Zout, 2009, Bodemdaling door zoutwinning in de Barradeel en Barradeel II winningvergunninggebieden. Gebaseerd op de nauwkeurigheidswaterpassing van september 2008 en de GPS resultaten tot eind januari 2009, Frisia Zout bv. (gepubliceerd via www.nlog.nl).

Gezondheidsraad, 2003, Juridische afbakening van het voorzorgbeginsel: mogelijkheden en grenzen, A03/03, Den Haag.

Gier, de, A.A.J., 2010, noot bij AB 2010, 149; Inpassingsplan Overdiepse polder.

Granovskii M, Dincer, I., and Rosen, M.A., 2006, Environmental and economic aspects of hydrogen production and utilization in fuel cell vehicles, Journal of Power Sources 157, 411–421.

Heimovaara, T., Eftekhari, A.A., and Bruining,H., 2010, Quantification of sustainability of soil remediation; the exergy concept, First International Conference on Frontiers in Shallow Subsurface Technology, 20-22 January 2010, Delft, The Netherlands.

Hendriksen T, 2009, Bezit, verwijdering en verkrijging van gasontladingslampen in de Nederlandse huishoudens. Tekstrapport GfK Panel Services Benelux in opdracht van Stichting LightRec Nederland. Dongen.

http://www.dinoloket.nl/nl/about/modellen/geotop.html.

http://www.randstad380kv.nl/d/f/2_folder.

http://www.vrom.nl/docs/convenant-bodemontwikkelingsbeleid-en-aanpak-spoedlocaties.pdf.

IVAM research and consultancy on sustainability, 2010, Duurzame stedelijke gebiedsontwikkeling, UvA. http://www.ivam.uva.nl/index.php?id=51.

Mulder, E.F.J. de, Geluk, M.C., Ritsema, I., Westerhoff, W.E. & Wong, T.E., 2003, De ondergrond van Nederland. Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO. ISBN 90-5986-007-1.

Muntendam-Bos et al, 2009, Inventory non-conventional gas, TNO-report, TNO-034-UT-2009-00774/B.

Patzek, T.W., 2004, Thermodynamics of the Corn-Ethanol Biofuel Cycle, Critical reviews in Plant sciences 23 (6) 519-567.

Provincie Drenthe, 2010, Met Drenthe de diepte in, Ontwerp structuurvisie ondergrond, Assen.

Raad van de Europese Gemeenschappen, 1985, Richtlijn 85/337/EEG van de Raad van 27 juni 1985 betreffende de milieu-effectbeoordeling van bepaalde openbare en particuliere projecten.

Rijkswaterstaat, 2010, Landelijke verdringingsreeks waterschaarste, Kamerstuk 27625, nr. 212, vergaderjaar 2010-2011.

SenterNovem, 2008, Intentieverklaring Bodem, http://www.agentschapnl.nl/sites/default/files/sn_bijlagen/intentieverklaringgetekendeversie-24-268009.pdf.

Stuurgroep ondergrondse vervoersinfrastructuur, SOVI, 1993, Ondergronds Overwegen, eindrapport van de CUR, Gouda.

Szargut, J., Morris, D.R., and Steward, F.R., 1998, Exergy Analysis of Thermal, Chemical, and Metallurgical Processes. Hemisphere, New York.

Taskforce WKO, 2009, Groen licht voor bodemenergie. Advies Taskforce WKO.

TCB, 1996, Diepe ondergrond en bodembescherming, denken in vier dimensies. Rapport van de Werkgroep ondergrond in opdracht van TCB, R06, Den Haag.

TCB, 2008, Duurzaam gebruik van de ondergrond. Preadvies TCB, A043, Den Haag.

TCB, 2009a, Duurzaam gebruik van de bodem voor WKO. Advies TCB, A050, Den Haag.

TCB, 2009b, Beleidsvisie duurzaam gebruik ondergrond. Advies TCB, A052, Den Haag.

TCB, 2011, Elementen voor duurzaam gebruik van de ondergrond. Advies TCB A067, Den Haag.

Tweede Kamer der Staten Generaal, 2011, Kamerstuk 27625, nr. 212, vergaderjaar 2010-2011. Brief van de Staatssecretaris van Infrastructuur en Milieu over waterbeleid, Den Haag.

Vaas, F. en Oeij, P., 2011, Innovatie die werkt; Praktijkvoorbeelden van netwerkinnoveren, Den Haag, Boom uitgevers.

Van der Kooi, H.J., 2011, Sustainability and its Technological Aspects, 2nd International Exergy, Life Cycle Assessment, and Sustainability Workshop & Symposium (ELCAS2) 19 - 21 June, 2011, NISYROS – GREECE.

VROM, 1979, Wet Milieubeheer, wet houdende regelen met betrekking tot een aantal algemene onderwerpen op het gebied van de milieuhygiëne, Den Haag.

VROM, 1986, Wet bodembescherming, wet houdende regelen met betrekking tot inzake bescherming van de bodem, Staatsblad 1986, 374, Den Haag.

VROM, 2003, Kamerstukken II, 2003/04 28663 en 28199 nr.13.

VROM, 2004, Kamerstukken II, 2004/05 29387 en 28663 nr.7.

VROM, 2009a, Convenant bodemontwikkelingsbeleid, bijlage bij kamerstuk 30015 nr. 36.

VROM, 2009b, Kabinetsreactie op advies WRR 'onzekere veiligheid' en advies Gezondheidsraad 'Voorzorg met rede', kenmerk RB 2009\019057.

VROM, 2010a, Rijksvisie op het duurzaam gebruik van de ondergrond, Den Haag. Bijlage bij Kamerstuk 32123-XI nr. 67.

VROM, 2010b, Circulaire herinrichting diepe plassen. Staatscourant nr. 20128, 24 december 2010.

Waal, J.A. de, *et al.*, 2012, The effective subsidence capacity concept: How to assure that subsidence in the Wadden Sea remains within defined limits?" Netherlands Journal of Geosciences (NJG) *(in press)*.

Werkgroep van het Implementatieteam Besluit Bodemkwaliteit, 2010, Handreiking voor het herinrichten van diepe plassen.

Westerhof, R., Wiersma, R. en Van den Brink, C., 2009, Gebruik van de ondergrond, ingrediënten voor een afweging. Rapport nr. 9T2518, in opdracht van TCB opgesteld door Royal Haskoning, Den Bosch.

WRR, Wetenschappelijke Raad voor het Regeringsbeleid, 2008, Onzekere Veiligheid, verantwoordelijkheden rond fysieke veiligheid, rapport 82, Amsterdam, University Press.

Samenstelling werkgroep Duurzaam Gebruik Ondergrond

Prof.dr. J. (Jasper) Griffioen (voorzitter, lid TCB)
Prof.dr.ir. F.B.J. (Frans) Barends (lid TCB)
Dr. J.N. (Jaap) Breunese
Prof.dr. J. (Hans) Bruining
Prof.dr.ir. T.N. (Theo) Olsthoorn
Prof.dr.ir. A.J.M. (Fons) Stams
Prof.dr.ir.ing. A.E.C. (Almer) van der Stoel
Dr. J. (Joke) van Wensem (algemeen secretaris van de TCB)
Drs. J.L.M. (Justine) Oomes (secretaris werkgroep)

Berekeningsmethoden efficiënt gebruik ondergrond als energieleverancier

Auteurs: Hans Bruining met steun van Hedzer van der Kooi en Ali Akbar Eftekhari, TU Delft.

De weg naar een duurzame maatschappij kan niet van de ene op de andere dag worden gerealiseerd. Er is nog een lange weg te gaan. Op deze weg zullen keuzes moeten worden gemaakt. De nieuwe methoden beschreven in deze bijlage kunnen helpen een aantal onjuiste paden te elimineren. Dat geldt zeker ook voor duurzaam gebruik van de ondergrond. Ook een analyse van het gebruik van de ondergrond als energieleverancier kan gebruik maken van deze generiek bruikbare recent ontwikkelde methoden (De Swaan Aarons *et al.*, 2004; Dewulf *et al.*, 2000; Szargut *et al.*, 1998; Dincer en Rosen, 2007; MacKay, 2008; Van der Kooi, 2011). Deze analyse valt in twee onderdelen uiteen:

A Schatting van de maximale bijdrage die de beschouwde methode aan het landelijke energieverbruik kan leveren;

B Schatting van de *recovery* efficiëntie die daadwerkelijk te realiseren valt. Wij definiëren drie soorten *recovery* efficiënties:
   - De theoretische maximale efficiëntie die bij optimale ontwikkeling van de technologie haalbaar is;
   - De praktisch haalbare efficiëntie die met de huidige stand van de techniek haalbaar is;

- De praktisch haalbare efficiëntie met volledig ongedaan maken van de milieuschade in het algemeen en de koolstof "voetafdruk" (broeikasgas) in het bijzonder (Van der Kooi, 2011).

Deze begrippen kunnen ook worden gebruikt bij het kwantificeren van duurzaamheid bij bodemsanering zoals in hoofdstuk 4 van dit rapport is uitgewerkt.

Ad A: De schatting van de maximale bijdrage van de beschouwde methode is meesterlijk beschreven in het boek "*Sustainable Energy Without The Hot Air*" van MacKay (MacKay, 2008). Het zal de lezer een goed beeld verschaffen en helpen de relevante vragen aan experts op het gebied van optimaal gebruik van de ondergrond voor energiewinning te stellen. Een groot voordeel van dit boek is dat het geen gebruik maakt van onverifieerbare gegevens en het dus helpt een eigen idee te vormen.

Fig. B.1 Sadi Carnot (1796-1832).

Een goed richtgetal is 'de netto energie per vierkante meter oppervlak die een energiewinningsmethode kan leveren' om een eigen idee te vormen van de haalbaarheid van een nieuwe methode. Het huidige Nederlandse energieverbruik bedraagt ongeveer 100 GW. Dit betekent dat de Nederlandse energieconsumptie per eenheid oppervlak ongeveer 2,5 W/m^2 bedraagt gegeven een totaal landoppervlak van 41.500 km^2. Men kan eenvoudig uitrekenen dat geothermische energie in Nederland (met een temperatuur gradiënt van 30 K/km en een geleidingscoëfficiënt van 2,1 W/m/K) de komende miljoenen jaren een maximale constante bijdrage zou kunnen leveren van om en nabij 63 mW/m^2, een vierhonderdste deel van ons energieverbruik. Er is dus geen sprake van een substantiële bijdrage van geothermie aan onze energievoorziening. Echter, in het algemeen zal men de bijkomstige exergiebijdragen zonder koolstof voetafdruk niet versmaden. In dit geval schat men de exergie uit de bodem (inclusief de Carnot factor, zie hieronder) voor een laag van 2000-3000 m (85 ^{0}C) en 1 procent winning, op 0,4 W/m^2 voor de komende twintig jaar.

We kunnen op deze manier ook de bijdrage van schaliegas aan onze energievoorziening voor de komende 20 jaar berekenen. Muntendam-Bos *et al.* (2009) schatten dat in schaliegasvoorkomens in Nederland $1{,}1 \times 10^{14}$ m³ gas zit opgeslagen. We nemen hier aan dat hiervan 1 % winbaar is in een periode van twintig jaar met een lagere warmtewaarde van 50 MJ/kg ~ 32 MJ/m³. Dit komt weer overeen met 1,3 W/m² voor de komende twintig jaar. Schaliegas zou in de komende twintig jaar mogelijkerwijze wel een substantiële bijdrage aan ons energieverbruik kunnen leveren, waarbij het opbergen van CO_2 in de ondergrond kan worden 'betaald' uit de geproduceerde energie (Eftekhari *et al.*, 2011). Op dit moment echter, is het produceren van schaliegas met het verwijderen van de overige mogelijke milieuschade nog onbewezen technologie.

Ad B: Willen wij de vraag beantwoorden welk gebruik van de ondergrond het meest efficiënt energie levert (bijvoorbeeld geothermie of schaliegas), dan is het nodig om de kwaliteit van verschillende soorten energie (chemische energie van het gas of warmte energie van het geothermische water) te kunnen bepalen. Pas daarna kan men beide vergelijken.

Zo bevat de oceaan een schier oneindige hoeveelheid (warmte) energie. Een schip zou graag een fractie van deze energie voor voortstuwing gebruiken en het gebruikte water vervolgens met een iets lagere temperatuur weer terug leveren aan de oceaan. De onmogelijkheid van deze procedure is geformuleerd in de onmogelijkheid van een perpetuum mobile van de tweede soort. Sadi Carnot (fig. 2.1, 1796-1832) analyseerde de wijze waarop een hoeveelheid warmte-energie *E* die ons wordt aangeleverd bij een temperatuur van T_h (K) via het kringproces van Carnot, arbeid levert en een kleinere hoeveelheid warmte-energie aflevert bij een temperatuur van T_l (K) (bijvoorbeeld de omgevingstemperatuur). De hoeveelheid arbeid (dat is ook de hoeveelheid nuttige energie (exergie)) die

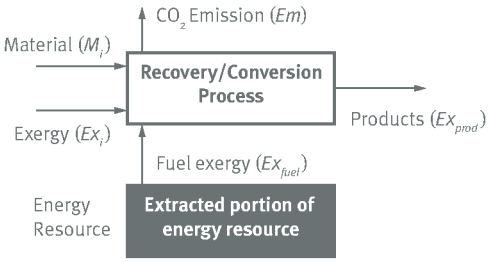


Fig B.2 From subsurface resource to product(Eftekhari et al.*, 2011).*

maximaal uit de gebruikte hoeveelheid warmte energie via het Carnot proces kan worden gewonnen, wordt gegeven door: $Ex = (1- T_l/T_h)E$. De rest van de energie $E(T_l/T_h)$ is nutteloze energie (anergie). Aangezien in de praktijk geldt dat lokaal in de oceaan $T_l \approx T_h$, is de nuttige energie (exergie) van de oceaan vrijwel nul.

Het concept nuttige energie (exergie) geeft de mogelijkheid om verschillende vormen energie van verschillende kwaliteit onder een noemer te brengen door te berekenen hoeveel nuttige energie (arbeid, exergie) per eenheid van die energievorm maximaal geproduceerd kan worden. Zo kan bijvoorbeeld warmte-energie uit een geothermisch reservoir vergeleken worden met verbrandingsenergie van schaliegas. Een energievorm heeft per definitie een hogere kwaliteit dan een andere energievorm wanneer daaruit maximaal meer nuttige energie per eenheid kan worden geproduceerd. Dit maakt het mogelijk een begrip als *recovery* efficiëntie te definiëren (zie fig. 2.2), omdat alle grootheden nu worden uitgedrukt in dezelfde soort energie, te weten nuttige energie (exergie).

De figuur laat zien hoe we van het onttrokken gedeelte van een energiebron (de brandstofenergie) via winnings- en omzettingsprocessen naar het energieproduct komen. Hiervoor is allerlei additioneel nuttige energie input nodig zoals putmaterialen, leidingwerk, enzovoort (M_i), alsmede energiekosten voor injectieproductie (compressiekosten, zuiveringskosten (Ex_i)). Voor olie bedragen de productiekosten zo'n 17 procent van de exergie-inhoud (Patzek, 2004). Daarnaast 'betalen' we ook CO_2 emissiekosten.

$$R_{eff} = \frac{Ex_{prod} - (Ex_{mat} + Ex_i + Ex_{co_2})}{Ex_{res}}$$

Bovenstaande vergelijking stelt dat de *recovery* efficiëntie van het beschouwde proces per definitie gelijk is aan de exergie van het product. Dit wordt gecorrigeerd voor de som van de exergieën die nodig zijn voor de aan materiaal gerelateerde exergie, de input exergie (compressie, verwarmen/koelen, boren, zuiveren van giftige componenten et cetera) alsmede de exergie die nodig is om de CO_2 broeikasgas "voetafdruk" te verwijderen. Dit geheel wordt gedeeld door de exergie van de brandstof die men uit de bodem onttrekt.

Voor het berekenen van de theoretische efficiëntie gaan we ervan uit dat de materialen en de input energie met 100 procent efficiëntie kunnen worden gemaakt, respectievelijk gebruikt, terwijl de exergie voor het verwijderen van de voetafdruk wordt genegeerd. Is deze *recovery* efficiëntie negatief dan zal de

voorgestelde methode ook in de toekomst nooit tot een bruikbaar proces kunnen leiden. De praktische *recovery* efficiëntie krijgt men door de efficiëntie factoren voor het produceren van de materiaalstromen en de overige input exergie in rekening te brengen. Is deze *recovery* efficiëntie nog steeds positief dan is het proces bruikbaar, indien men de milieuvoetafdruk zou accepteren. Een vergelijking met de theoretische efficiëntie laat ook de zwakheden van het voorgestelde proces zien, dus de processen waarvan men de efficiëntie substantieel zou moeten verbeteren voordat ze zinvol kunnen worden ingezet. Past men bovengenoemde vergelijking in zijn geheel toe, dus inclusief de exergie die nodig is voor het verwijderen van de CO_2-voetafdruk, dan is het proces onvoorwaardelijk aanvaardbaar indien de *recovery* efficiëntie positief is.

De ervaring leert dat men exergiekosten voor materialen vaak onderschat. Bijvoorbeeld de materiaalkosten die voor een auto worden genoemd, bedragen 30.500- 76.000 kWh (110-270 GJ) (zie MacKay 2008, pp 94), respectievelijk met en zonder recycling. Het is interessant te zien dat een auto die 1 liter benzine (~35 MJ/liter) per 12 km gebruikt voor deze exergie 40.000-95.000 km kan rijden.

Een richtgetal voor conversie van exergiekosten naar echte kosten voor materialen bedraagt ongeveer 20 – 40 euro / GJ (Granovskii *et al.*, 2006). Dit verklaart, in orde van grootte, de helft van de kosten van een auto. Het voordeel van een exergieanalyse, om de exergiewaarden die in de vergelijking nodig zijn te kunnen berekenen, ten opzichte van een economische analyse is dat men niet in de verleiding komt om in een schijnbaar duurzaam proces goedkope fossiele brandstoffen (voor materialen) te gebruiken in een proces om duurzame energie te produceren. Aan de andere kant is een exergieberekening een schatting; zou de *recovery* efficiëntie in de buurt van de nul uitkomen is het wellicht toch de moeite waard de methode nader te analyseren.

Een andere exergiekosten-factor die vaak wordt onderschat is die van de compressiekosten. Voor een geothermisch reservoir bedragen deze onder normale omstandigheden (redelijke ondergrondse permeabiliteit) orde grootte 10 procent van de geproduceerde exergie. Echter, bij slecht doorlatende reservoirs of bij verstopping lopen deze compressiekosten gemakkelijk op tot boven de 100 procent. Dit laat dan ook direct zien waarom het begrijpen en voorkomen van de oorzaken van hoge compressiekosten een speerpunt van het geothermisch onderzoek zijn.

Ten slotte onderschat men vaak ook de exergiekosten die nodig zijn om de CO_2 voetafdruk te verwijderen (*Carbon Capture and Sequestration*, CCS). Gebruik van lucht in plaats van zuurstof bij de verbrandingsstap in deze processen betekent dat *capture* enkele tientallen procenten van de energiebron meer kost (Delucchi, 2003).

Het ligt voor de hand bij het uitvoeren van een project om een 'exergie-analyse' verplicht te stellen, waarbij men ook de benodigde exergie voor het verwijderen van de milieuschade in rekening brengt. Een ruim negatieve praktische *recovery* efficiëntie inclusief het voorkomen van de CO_2 voetafdruk geeft aan dat gebruik van de methode met de huidige stand van de techniek moet worden ontraden. Dit kan het entameren van schijnbaar duurzame energie projecten voorkomen (Patzek, 2004).

Aanverwante publicaties van de TCB:

- Advies Kennisstructuur ondergrond. A070 (2011)
- Advies Elementen voor duurzaam gebruik van de ondergrond. A067 (2011)
- Advies Beleidsvisie Duurzaam gebruik ondergrond. A052 (2010)
- Advies Duurzaam gebruik van de bodem voor WKO. A050 (2010)
- Preadvies Duurzaam gebruik van de ondergrond. A043 (2008)

Alle publicaties zijn te downloaden van www.tcbodem.nl.

Technische
commissie
bodem

De Technische commissie bodem (TCB) geeft technisch-wetenschappelijk advies over (milieu)beleid voor de bodem. De missie van de TCB is het bevorderen van een duurzame benutting van bodem en ondergrond. Doel van de TCB is om overheden en andere partijen te ondersteunen met technisch-wetenschappelijke kennis over bodem en ondergrond. Deze ondersteuning kan leiden tot beter beleid.

Naar aanleiding van de toenemende drukte in de ondergrond heeft de TCB een werkgroep van deskundigen ingesteld. De werkgroep Duurzaam Gebruik Ondergrond had als opdracht de TCB te informeren over de stand van zaken van gebruik van de ondergrond en belichtte technische, juridische en bestuurlijke aspecten. Dit rapport is het eindresultaat van de werkgroep.

Naast een aantal cases bespreekt de werkgroep elementen voor het afwegen van duurzaamheid van gebruik van de ondergrond, methodieken voor het afwegen, omgaan met onzekerheden en regie. In de synthese wordt het 'ideale' ondergrondse project beschreven aan de hand van een aantal kernbegrippen die slaan op het project zelf en de bestuurlijke kant van het project.

Technische
commissie
bodem