

Laan van Westenenk 501  
Postbus 342  
7300 AH Apeldoorn

[www.mep.tno.nl](http://www.mep.tno.nl)

T 055 549 34 93  
F 055 549 32 01  
[info@mep.tno.nl](mailto:info@mep.tno.nl)

**TNO-rapport**

**R 2002/705**

**Kansen voor de Ondergrond**

Datum	december 2002	
Auteurs	L. Maring, R.A.J. Plant, A.J.C. Sinke B.B.T. Wassing, H.J.T. Weerts, M. van Vliet M.H. Kriekaard, J. Herbschleb L.J.J. v.d. Wal R. Fisser	TNO-MEP TNO-NITG Royal Haskoning Gemeente Rotterdam Provincie Zuid-Holland
Projectnummer	33086/33168.03	
Trefwoorden	Meervoudig ruimtegebruik, ondergrond, integrale afweging, ondergronds bouwen, ruimtelijke ordening, duurzaamheid	
Bestemd voor	SKB/Projectgroep BAGEO	

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor onderzoeksopdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst. Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.



## Voorwoord

Sinds 1999 werkt een consortium van eindgebruikers en betrokkenen aan het ontwikkelen van een afwegingskader voor een duurzaam gebruik van de ondergrond, het zogenaamde *Breed Afwegingskader Gebruik van de Ondergrond* (BAGEO). De relevante kennis en ervaring voor dit SKB project ligt op het gebied van de belangenafweging binnen brede kaders, opereren binnen een politiek bestuurlijke context, communicatie rond ontwikkeling en implementatie van nieuw beleid, ondergronds bouwen en andere gebruiksmogelijkheden van de ondergrond, planologie, bodem en grondwatersystemen en instrumentontwikkeling. Dit rapport beschrijft de resultaten van één van de deelprojecten dat gericht is op het in kaart brengen van de mogelijkheden die de ondergrond biedt met betrekking tot de ruimtelijke ordening: “De kansen voor de ondergrond.”

TNO is projectleider van dit deelproject en heeft kennis en expertise van twee instituten die zich richten op het TNO-kerngebied “Duurzaam ruimtegebruik en milieu”, MEP en NITG, ingebracht. Daarnaast heeft Royal Haskoning de expertise met betrekking tot bovengrondse functies gegeven en is de specifieke inbreng van het deelproject “Schaduwplannen”, uitgevoerd door de Provincie Zuid-Holland en het Ingenieursbureau Rotterdam, verwerkt in hoofdstuk 7.

Tabel 1 Consortium BAGEO fase 3

Provincie Zuid-Holland	Eindverantwoordelijkheid Sturend overleg met overheden, projectleiding, secretariaat Deelprojecten
Ingenieursbureau Rotterdam	Deelprojecten
Royal Haskoning	Financiële administratie, verantwoording richting SKB Deelprojecten
TNO	Deelprojecten



## Inhoudsopgave

Voorwoord.....	3
1. Inleiding.....	7
2. State of the art.....	11
2.1 Instrumentarium BAGEO.....	11
2.2 Kaarten.....	12
2.2.1 Inleiding en terminologie.....	12
2.2.2 Bronnen voor kaarten.....	13
2.2.3 Basiskaarten.....	14
2.2.4 Afgeleide thematische kaarten.....	16
3. Werkwijze.....	21
3.1 Inleiding.....	21
3.2 Matrices.....	21
3.3 Schaduwplannen.....	22
3.4 BIGEO.....	23
4. Combinatie ondergrondse gebruiksfuncties met ondergrond.....	25
4.1 Leverancierfunctie.....	27
4.2 Reservoirfunctie.....	28
4.3 Ruimte/reservoir functie.....	29
4.4 Ecosysteemfunctie.....	30
5. Combineren van ondergrondse functies.....	31
5.1 Opbouw van de matrix.....	31
5.2 Invulling van de matrix.....	31
5.3 Hoe te gebruiken.....	31
6. Combinatie bovengrondse en ondergrondse functies.....	35
6.1 Opbouw van de matrix.....	35
6.2 Invulling van de matrix.....	35
6.3 Hoe te gebruiken.....	36
7. Toetsing matrices aan schaduwprojecten.....	39
7.1 Inleiding.....	39
7.2 Alphen-Bodegraven.....	39
7.2.1 Beschrijving schaduwplan.....	39
7.2.2 Aansluiting aan matrices.....	41
7.3 Rotterdam CS.....	42
7.3.1 Beschrijving schaduwplan.....	42
7.3.2 Aansluiting aan matrices.....	42

---

8.	Conclusies en aanbevelingen .....	45
9.	Literatuur.....	51
10.	Verantwoording .....	55

#### Bijlagen

Bijlage 1	Basiseigenschappen van de ondergrond
Bijlage 2	Bijlage bij Matrix $F_o * F_o$
Bijlage 3	Bijlage bij Matrix $F_o * F_b$
Bijlage 4	Handvaten toetsing ondergronds bouwen
Bijlage 5	Aansluiting matrices bij schaduwplannen

## 1. Inleiding

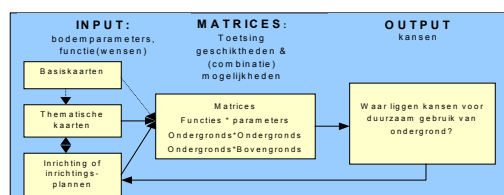
Het primaire doel van BAGEO is kennisvermeerdering van ondergronds ruimtegebruik en besluitvorming hierover. Het project heeft tot doel een afwegingskader te ontwikkelen en implementeren dat een optimaal en duurzaam gebruik van de ondergrond mogelijk maakt.

BAGEO fase 3 bestaat uit enkele deelprojecten:

1. Breed Informatiesysteem voor GEbruik van de Ondergrond (BIGEO)
2. Schaduwplannen
3. Ontsluiting van kennis over bodem door kaarten voor duurzaam bodemgebruik
4. Bepaling rolverdeling overheden
5. Aanvulling wetgeving en beleidsinstrumentarium (BAGEO-juridisch)
6. Communicatie
7. Integratie tot een ‘ondergrondtoets’ en rapportage

Dit rapport geeft de resultaten van deelproject 3: bodemgeschiktheids- en wensenkaarten. Omdat de methodologie verder gaat dan alleen het maken van kaarten, is de titel van dit deelproject veranderd in ‘Kansen voor de ondergrond’.

Het deelproject omvat het opstellen van een generieke procedure om de geschiktheid van de ondergrond voor een bepaalde functie of combinatie van functies vast te stellen. In figuur 1.1 wordt dit proces schematisch uitgebeeld.



Figuur 1.1 Proces bepaling bodemgeschiktheid voor (combinatie van) functie(s)

De eerste opzet van deze deelactiviteit was gericht op het maken van (legenda's voor) 'wensen-', 'kansen-' en bodemgeschiktheidskaarten. Deze methodologie is gaandeweg aangepast, omdat voor iedere specifieke situatie andere kaarten vereist zijn. Uiteindelijk zijn er generieke matrices ontwikkeld. De matrices zijn opgesteld om de kansen voor een duurzaam gebruik van de ondergrond zo vroeg mogelijk in het planningsproces mee te nemen. Bij planningsopdrachten bestaat meestal al een beeld van de te realiseren inrichting waarbij als eerste de gewenste bovengrondse functies (Fb) worden bekeken. Met behulp van de matrix  $Fo * Fb$  kan gekeken worden welke ondergrondse functies (Fo) hier goed bij passen. Vervolgens kan met de matrix  $Fo * Fo$  worden nagegaan welke ondergrondse functies goed gecombineerd kunnen worden. Tenslotte kan met de matrix  $Fo * P$  de geschiktheid van de bodem, weergegeven in bodemparameters (P), voor deze ondergrondse functies worden getoetst.

De geschiktheid van de bodem is afhankelijk van de eigenschappen (parameters P) van de bodem. Voor het bepalen van de bodemeigenschappen (P) die de bodemgeschiktheid voor een specifieke functie bepalen, is vakkennis vereist, zowel van de technische aspecten van het gebruik (procesketen, stofstromen, etc) als van de bodemkundige, geologische en (geo)hydrologische gesteldheid van de Nederlandse ondergrond. In theorie kan een deskundige voor elke denkbare functie een geschiktheidskaart maken zolang de vereiste gegevens beschikbaar zijn met een toereikende resolutie en betrouwbaarheid. Deze eigenschappen zijn meestal met behulp van basiskaarten (kaart van 1 eigenschap of 'parameter'), of afgeleide thematische kaarten (kaarten waarin meerdere eigenschappen van de ondergrond worden gecombineerd tot een thema). Door middel van de combinatie van de basis- en thematische kaarten en de matrices kan de geschiktheid van de bodem voor de gewenste functies ruimtelijk worden weergegeven.

Door middel van het inzetten van de matrices, kunnen dus zowel de te verzamelen kaarten, alsmede mogelijkheden voor een inrichtingsvraagstuk en verrassende variaties op functiecombinaties boven en onder de grond worden gevonden.

De drie functiematrices ( $Fo * P$ ,  $Fo * Fo$ ,  $Fo * Fb$ ) zijn generiek van opzet en moeten dan ook niet worden gezien als een volledig overzicht van ondergrondse functies voor een specifieke situatie. De matrices zijn bedoeld om de doelgroep (initiatiefnemers, toetsers, planologen en beleidsmakers) een indruk te geven van de mogelijkheden die de ondergrond biedt en met welke aspecten er rekening moet worden gehouden. De matrices bieden daarmee een handvat voor het betrekken van de ondergrond in de (her)inrichting van een gebied.



- De matrix Fo\*P kan planners helpen vast te stellen welke kaarten er voor welke functies nodig zijn en welke parameters van toepassing zijn.
- De matrix Fo\*Fo kan het plannen van het gebruik van de ondergrond ondersteunen. Deze matrix maakt het inzichtelijk welke functies ondergronds goed combineren. Ook maakt de matrix helder of toekomstige functies worden uitgesloten wanneer in de huidige situatie voor een bepaalde functie wordt gekozen.
- De matrix Fb\*Fo stimuleert het denken over ondergronds ruimtegebruik door inzichtelijk te maken welke bovengrondse functies goed combineren met specifieke ondergrondse functies.

Door het gebruik van de matrices bij de planningsopgave, wordt duidelijk welke gegevens boven water moeten komen om de gewenste (combinatie van) functies aan de bodemgeschiktheid te toetsen. De mogelijkheden en beperkingen van de bodem binnen de inrichtingsopgave komen op deze manier op een vroeg tijdstip aan het licht. Door het bewust integreren van de kansen voor de ondergrond in de ruimtelijke ordening en het bijhouden van de effecten en ervaringen, kunnen de matrices te zijner tijd worden aangescherpt of uitgebreid. Een voorbeeld van een inrichtingsopgave waarbij is uitgegaan van de mogelijkheden ondergronds is de herinrichting van het glastuinbouwgebied tussen Zoetermeer en Gouda (Zuidplaspolder). Bij het zoeken naar duurzame locaties voor de glastuinbouw werden als criteria vanuit bodem en ondergrond de zettingsgevoeligheid en ecologische potenties van de bodem, de geschiktheid voor de opslag van koude/warmte en gietwater en de geschiktheid voor ondergronds bouwen gehanteerd (Peeters en Kwadijk, 2001). ‘Duurzaamheid’ is hier dus mede gedefinieerd in termen van het slim benutten van de ondergrond (bijv het realiseren van ondergrondse facilitaire en logistieke voorzieningen bij voldoende ‘kritische massa’).

### Leeswijzer

- 1, 2** Na het voorwoord, doel en de inleiding van dit rapport van BAGEO fase 3, activiteit 3, is in hoofdstuk 2 een stuk ‘state of the art’ te vinden. In fase 2 van BAGEO is een inventarisatie gedaan naar het bestaand instrumentarium voor integrale afweging en de koppeling met BAGEO. Deze inventarisatie is gedeeltelijk in dit rapport opgenomen (hoofdstuk 2.1). Ook worden hier de kaarten die nodig kunnen zijn in het BAGEO afwegingskader toegelicht (hoofdstuk 2.2).
- 3** In hoofdstuk 3 wordt globaal de gevolgde werkwijze beschreven, opgesplitst in een inleiding, een stuk over de ontwikkelde matrices, de schaduwwplannen en de website BIGEO.
- 4, 5, 6** De ontwikkelde drie matrices Fo\*P (functies en basiseigenschappen van de grond), Fo\*Fo (combinatie van functies ondergronds) en Fo\*Fb (functies ondergrond en bovengrond) worden achtereenvolgens in hoofdstukken 4, 5 en 6 beschreven en geïllustreerd.

- 7, 8** In hoofdstuk 7 wordt de methodologie van het bepalen van kansen voor een duurzaam gebruik van de ondergrond getoetst aan de schaduwplannen, gevolgd door de conclusies in hoofdstuk 8.

## 2. State of the art

### 2.1 Instrumentarium BAGEO

Eén van de andere onderzoeken die van belang zijn geweest voor deze fase van BAGEO is het project “Verkenning behoefte, eisen en wensen integrale afwegingsmodellen en beslissingsondersteunende systemen ondergronds en meervoudig ruimtegebruik (J620) van het Centrum Ondergronds Bouwen (Carton L, et al, 2001). Het algemene doel van dit project is: transparanter afwegingsproces en vanzelfsprekender integrale afweging ondergronds/bovengronds ruimtegebruik. Ook worden in dit project de volgende vragen gesteld:

- Welke praktijkkeisen stellen (eind)gebruikers aan afwegingsmodellen?
- In welke fase van besluitvorming worden ze ingezet?
- Welk onderscheid naar typering projecten moet worden gemaakt?

Een lijst van andere COB projecten die aansluiten aan BAGEO staat in het basisprojectplan (basisprojectplan SV-046, 2001).

In het kader van BAGEO fase 2 (SV-046, 2001) is een inventarisatie gedaan naar methoden en technieken voor integrale afweging en de koppeling met BAGEO. Na oriëntatie op de literatuur is, in overleg met de BAGEO projectgroep, een selectie gemaakt van te interviewen, aan TNO verbonden kennishouders.

Voordat de interviews werden afgenomen, is samen met de trekkers van de 2 proefprojecten (schaduwplannen, hoofdstuk 7) geïnventariseerd welke kennishiaten op het gebied van instrumentarium de case studies aan het licht hebben gebracht. Tijdens de inventarisatie van het instrumentarium is ten eerste gekeken of de betreffende instrumenten primair zijn bedoeld voor informatievoorziening (I) of voor beslissingsondersteuning (B). Vervolgens is, voor zover dat mogelijk was, onderzocht op welke van de negen geïdentificeerde BAGEO domeinen de instrumenten ‘scoren’. Deze werkwijze resulteerde in een schematisch overzicht van het bestaande instrumentarium en geeft tevens informatie over de domeinen waarvoor (nog) geen instrumenten beschikbaar zijn (Plant 2000).

De conclusies uit dit onderzoek zijn:

- Het evalueren van beslissingsproblemen (‘integraal afwegen’) wordt door alle geïnterviewden gezien als maatwerk. Daarom is het voor een aantal ‘instrumenten’ moeilijk aan te geven hoe zij precies aan BAGEO kunnen worden gekoppeld.
- Het BAGEO afwegingskader was voor een aantal geïnterviewden herkenbaar, terwijl het bij anderen veel vragen opriep. Vooral het integratieniveau van BAGEO werd onduidelijk gevonden. Is BAGEO voor de ‘regisseur’ die meerdere, simultane ruimteclaims behandelt? Of is het de bedoeling dat een ruimte claimende actor door BAGEO op het idee wordt gebracht zijn voorgenoemde activiteit ondergronds te brengen?

## 2.2 Kaarten

### 2.2.1 Inleiding en terminologie

De beoordeling of een functie goed aansluit bij de opbouw van de ondergrond vindt plaats op basis van verschillende typen kaarten. Er bestaan de zogenaamde **basiskaarten**, die de eigenschappen van de ondergrond weergeven en de **afgeleide thematische kaarten**. In de laatste categorie vallen de kaarten waarin meerdere eigenschappen van de ondergrond worden gecombineerd tot een thema, bijvoorbeeld het thema ‘zettingsgevoeligheid’. De basiskaarten geven slechts een eerste indicatie voor het gebruik van de ondergrond en dienen vaak als basisgegevens voor de afgeleide thematische kaarten. Zo geeft de klei- en veendikte kaart een eerste indicatie van de zettingsgevoeligheid van een gebied. Thematische kaarten leveren specifieke informatie over een bepaald thema. In de zettingsgevoeligheidskaart zijn naast gegevens over de klei- en veendiktes ook gegevens over de grondwaterstand en de voorbelasting van de afzettingen verwerkt. Hierdoor is een (kwantitatieve) voorspelling van het effect van een ingreep in de ondergrond, in dit geval de zetting bij een bepaalde bovenbelasting of grondwaterstandverlaging, mogelijk. Thematische kaarten kunnen ook direct de geschiktheid voor een bepaalde functie weergeven; in dat geval worden ze ook **bodemgeschiktheidskaarten** genoemd. Voorbeelden hiervan zijn de oppervlaktedelfstoffen kaarten en ondergronds bouwen kaarten.

De termen bodemwensenkaart en bodemkansenkaart zullen in dit onderzoek verder niet gehanteerd worden, maar zullen voor de duidelijkheid toch toegelicht worden: De **bodemwensenkaart** kan gedefinieerd worden als een kaart die de beleidsmatig gewenste locatie van functies weergeeft. De **bodemkansenkaart** (kaarten a, b, c, d voor ZuidHolland) ontstaat wanneer de bodemgeschiktheidskaart en bodemwensenkaart worden gecombineerd. Waar overeenkomsten zijn, ontstaat een kans. In de regel wegen de wensen zwaarder dan de geschiktheid, zeker op locaties waar de druk op de ruimte hoog is. In dergelijke situaties groeit de bereidheid te betalen voor de aanpassing van de bodemgeschiktheid.

Basiskaarten en thematische kaarten worden gemaakt op basis van gegevens opgeslagen in de DINO-database van het Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen – TNO (paragraaf 2.2.1).

Een aantal van de hieronder genoemde kaarten is op landelijke schaal of als landsdekkende kaartenserie uitgegeven. Bij deze kaarten worden de referenties vermeld. Een groot deel van de hieronder genoemde kaarten is niet op landelijke schaal of voor elke regio beschikbaar; vaak zijn de kaarten projectsgewijs voor een specifiek gebied, bijvoorbeeld op project-, gemeente- of provinciale schaal gemaakt. De methodiek voor het vervaardigen van deze kaarten is echter wel uitgewerkt; indien de benodigde basisgegevens van het gebied beschikbaar zijn kan de betreffende kaart voor elk willekeurig ander gebied gemaakt worden. In een beperkt aantal

gevallen is nog geen methodiek beschikbaar; dit wordt bij de betreffende kaart vermeld.

In deze paragraaf wordt een korte beschrijving gegeven van de verschillende kaarten en de basisgegevens die eraan ten grondslag liggen.

### **2.2.2 Bronnen voor kaarten**

Er zijn verschillende bronnen voor de hier beschreven kaarten. Meestal zijn benodigde data verzameld in een BodemInformatieSysteem (BIS). Iedere provincie beschikt wel over zo'n BodemInformatieSysteem. Verschillende voorbeelden van bronnen voor kaarten staan in deze paragraaf beschreven.

#### *DINO-database*

DINO staat voor Data en Informatie Nederlandse Ondergrond en is het centrale opslagsysteem van geowetenschappelijke gegevens van de ondergrond van Nederland. In DINO worden verschillende typen gegevens beheerd, zoals boringen, grondwatergegevens, sonderingen, resultaten van geologische, geochemische en geomechanische monsteranalyses, boorgatmetingen en seismische gegevens. Boringen en sonderingen kunnen via internet op Dinoloket (website TNO-NITG (1)) opgevraagd worden. In de nabije toekomst zullen op Dinoloket ook de overige typen gegevens toegankelijk zijn.

#### *Landelijke kartering Nederland – LKN-model*

Binnen de Landelijke Kartering Nederland (LKN) wordt een 3 dimensionaal ondergrondmodel van de ondergrond van Nederland gemaakt. Dit model geeft de ligging weer van de lithostratigrafische eenheden in de ondergrond tot een diepte van zo'n 50 à 100 meter beneden het maaiveld. Het landelijke model zal in de toekomst een belangrijke basis vormen voor allerlei typen afgeleide kaarten en modellen.

#### *REGIS*

TNO-NITG bezit al meer dan 50 jaren een nationale databank (tegenwoordig DINO-grondwater) met gegevens en informatie over grondwater en ondergrond. Sinds 1990 is de databank uitgebreid met een applicatie omgeving onder de naam REGIS. Dit geavanceerde informatiesysteem is ontwikkeld in opdracht van het Rijk en de provincies. Het systeem beschikt over een uitgebreide set functionaliteiten voor de bewerking, interpretatie, analyse en presentatie van informatie met betrekking tot de opbouw van de ondergrond en het daarin voorkomende grondwater die voor regionaal grondwaterbeheer van belang zijn. Verder kan het systeem ook gegevens over het oppervlaktewater bevatten (website TNO-NITG (2)).

### *ABIS*

Het Actief Bodembeheer Informatie Systeem (ABIS) wordt vooral gezien als een werkwijze om op efficiënte en samenhangende wijze beleidsondersteunende informatie aan te leveren op basis van actuele stand van de aanwezige informatie en kennis. Centraal in het ambitieniveau staat het realiseren van kansencarten, die bij uitstek kunnen functioneren als communicatie- middel en afwegingsinstrument. Essentieel hierbij is dat niet alleen de noodzakelijke informatie en kennis wordt geïdentificeerd, maar ook de gebruiks- dan wel besliscriteria die aangeven bij welke functie bodeminformatie prioriterend dan wel limiterend is. De doelstelling van het ABIS project is om op termijn een ‘Decision Supportstelsel’ te realiseren voor het afwegen van het gebruik van de ondergrond. Hierbij wordt een nauwe afstemming nagestreefd met het in Zuid-Holland opgestarte SKB - project “Breed Afwegingskader Gebruik Ondergrond” (Bageo). Voor het inhoudelijke deel van het systeem (de ondergrondgegevens) gaan zij met name uit van de GIS/BIS systemen zoals die in gebruik zijn bij de Gemeente Rotterdam (Website Delft Cluster).

### **2.2.3 Basiskaarten**

#### *Klei-veendikte*

Klei- en veendiktekaarten geven de (cumulatieve) dikte en eventueel de diepteligging weer van de klei- en veenlagen in de bovenste meters onder het maaiveld. De kaarten worden projectsgewijs gemaakt op basis van boringen en sonderingen uit de DINO-database. De kaarten kunnen onder andere gebruikt worden als basismateriaal voor afgeleide thematische kaarten als de zettingsgevoeligheidskaart en de trillingsgevoeligheidskaart [kaart 0].

#### *Top Pleistoceen*

De top Pleistoceenkaart [kaart 1] geeft de diepteligging van de top van de pleistocene afzettingen weer. De kaart is gebaseerd op boorgegevens en sonderingen uit de DINO-database. De kaart geeft een indicatie van de funderingsdiepte. In West Nederland wordt, bij aanwezigheid van een dik pakket slappe holocene afzettingen gefundeerd op de top van de pleistocene afzettingen. De kaart kan gebruikt worden als basis van afgeleide thematische kaarten als de zettingsgevoeligheidskaart en de funderingsdieptekaart.

#### *Landschapsgenese*

De landschapsgenetische kaart geeft de afzettingsgeschiedenis van een gebied weer. Op basis van de landschapsgenetische kaart kan besloten worden welke elementen zo karakteristiek zijn voor het landschap en de (cultuur)geschiedenis van het gebied, dat zij bewaard of zelfs benadrukt dienen te worden bij de inrichting van het gebied (bijvoorbeeld de kreeksystemen). Landschapsgenetische kaarten worden projectsgewijs gemaakt. Landschapsgenetische informatie kan ook worden afgeleid uit de oppervlaktegeologische kaarten (zie ook oppervlaktegeologie).

### *Oppervlaktegeologie*

De oppervlaktegeologiekaart [kaart 2] geeft met behulp van zogenaamde ‘profiel-typen’ aan welke opeenvolging van geologische eenheden binnen enkele meters onder het maaiveld wordt aangetroffen. Uit de kaart kan een eerste indruk worden verkregen van het type afzettingen (zand, klei, veen, de ligging van zandige geulafzettingen) dat onder het maaiveld wordt aangetroffen. Oppervlaktegeologische kaarten geven ook informatie over de ontstaansgeschiedenis van een gebied. De oppervlaktegeologiekaart is samengesteld op basis van veldonderzoek en gegevens uit de DINO-database.

### *Diepe geologie en tektonische setting*

Informatie over de diepteligging, dikte en samenstelling van de lagen op grotere diepte (dieper dan 500m ) kan verkregen worden uit de Atlas van de diepe geologie van Nederland [kaart 3]. Op deze kaarten staan ook de breuksystemen op grotere diepte weergegeven. Deze kaarten vormen het basismateriaal voor afgeleide thematische kaarten als bijvoorbeeld het geothermisch potentieel. Daarnaast geven de kaarten informatie over de ontstaansgeschiedenis en tektonische setting. De informatie kan gebruikt worden bij uitspraken over de aardbevingsgevoeligheid van een gebied en levert bijvoorbeeld informatie over de diepteligging van diepere kleilagen die mogelijk geschikt zijn voor opslag van (radioactief) verontreinigd materiaal.

De kaarten zijn gebaseerd op (diepe) gegevens die voornamelijk door oliemaatschappijen worden verzameld en in het kader van de mijnwettelijke verplichtingen aan het TNO-NITG beschikbaar gesteld.

### *Grondwater*

Onder de grondwaterkaarten vallen een aantal kaarten met basisgegevens over het grondwater (de chemische samenstelling, de diepteligging van het zoet-zout grensvlak, de stijghoogten in de watervoerende pakketten en de grondwaterstand), de watervoerende pakketten (de diepteligging, de doorlatendheid en de dikte), de scheidende lagen (de diepteligging, de dikte en de weerstand), de weerstand van de deklaag en of het een kwel- of infiltratiegebied betreft. Daarnaast kunnen kaarten met watersysteemgrenzen gemaakt worden voor zowel grondwater als oppervlaktewater. De gegevens die gebruikt worden voor deze kaarten zijn afkomstig uit DINO en REGIS en worden vaak als basis voor andere afgeleide kaarten gebruikt. Zo worden de grondwatergegevens gebruikt in de thematische kaarten voor warmte-koude opslag, de kaarten voor de geschiktheid voor ondergronds bouwen en de zettingsgevoeligheidskaarten.

### *Bodemtype*

De bodemkaart [kaart 4] geeft ruimtelijke informatie over de bodemopbouw tot globaal 1 meter diepte. Met grondwatertrappen wordt op deze kaarten informatie gegeven over de diepte van de gemiddeld hoogste grondwaterstand. Bij het samenstellen van de bodemkaart is gekeken naar de bodemgesteldheid of de bodemgeografie. Met andere woorden men heeft gekeken naar de aard en de verbreiding van

kenmerken van de bodem die niet aan sterke wisseling onderhevig zijn. Deze zijn weergegeven in de vorm van eenheden. Deze bodemeenheden worden soms vertaald of vereenvoudigd naar bodemtypen als klei, veen, zand, etc. Deze vereenvoudigde kaarten kunnen gebruikt worden voor het vervaardigen van thematische kaarten als bodemkwaliteitskaarten en bodemgeschiktheidskaarten. De bodemkaart vormt tevens een basiskaart voor de aardkundige waarden kaarten.

#### *Geomorfologie/reliëf*

De geomorfologische kaart [kaart 5] geeft de vormen van het landschap weer. De verschillende vormen van het landschap zijn ontstaan door bijvoorbeeld afzettingen van rivieren, eolische afzettingen, druk van het ijs en smeltwater. Uit de geomorfologische kaart kunnen dus zowel vormbepalende factoren als ouderdom worden afgeleid. Aan de verschillende geomorfologische eenheden is ook nog een reliëf-factor toegevoegd. De geomorfologische kaart kan gebruikt worden om een eerste indruk van het gebied te krijgen m.b.t. bijvoorbeeld grondwaterstroming of bodemtype. De geomorfologie vormt niet alleen een bodemarchief, maar kan gebruikt worden als achtergrondinformatie voor de leverancierfunctie. Daarnaast is de geomorfologische kaart een basiskaart voor de aardkundige waarden kaarten.

### **2.2.4 Afgeleide thematische kaarten**

#### *Zettingsgevoeligheid*

Zettingen kunnen optreden op lokaties waar dicht onder het maaiveld slappe holocene veen- en kleilagen worden aangetroffen. Kaarten met klei- en veendiktes in de bovenste meters van de ondergrond kunnen derhalve goed gebruikt worden om een eerste indicatie te krijgen van de zettingsgevoeligheid van een gebied. Naast de samenstelling van de ondergrond speelt ook de hoogte van de grondwaterstand en de voorbelasting van de klei- en veenlagen een rol. Door basisgegevens als dikte en diepteligging van de klei- en veenlagen te combineren met informatie over grondwaterstanden kunnen zettingsgevoeligheidskaarten worden gemaakt, die de zetting veroorzaakt door een bovenbelasting of een grondwaterstandverlaging weergeven. Deze kaarten worden projectsgewijs gemaakt.

#### *Funderingsdiepte*

De funderingsdiepte wordt bepaald door de diepteligging van de eerste voldoende draagkrachtige laag. In het westen van Nederland is dit vaak de top van de pleistocene afzettingen. De top Pleistoceenkaart geeft (voor West Nederland) dan ook een eerste indicatie van de diepte van het funderingsvlak. Ook jongere afzettingen, als bijvoorbeeld de strandvlakten en strandwallen in het kustgebied, of holocene geulafzettingen kunnen echter als funderingsniveau dienen. Funderingsdieptekaarten, vervaardigd op basis van de boor- en sondeergegevens afkomstig uit de DINO database geven een gedetailleerd beeld van de funderingsdiepte voor een gebied. Deze kaarten worden projectsgewijs gemaakt.



### *Trillingsgevoeligheid*

De mate van voortplanting van trillingen (veroorzaakt door verkeer, ontgravingwerkzaamheden of het heien van funderingen) wordt bepaald door de samenstelling van de ondergrond. Hierbij spelen eigenschappen van de ondergrond als dichtheid, stijfheid en demping een grote rol. Uit deze gegevens kan in principe een ‘trillingsgevoeligheidskaart’ worden afgeleid. Een methodiek voor het vervaardigen van deze thematische kaart is echter nog niet uitgewerkt.

### *Ondergronds bouwen*

Deze kaarten geven de geschiktheid van de ondergrond voor ondergronds bouwen weer. Voor het ondergronds bouwen van verblijfsruimten is de moeilijkheidsgraad voor het construeren van een bouwkuip vaak de bepalende factor. Meerdere factoren bepalen de moeilijkheidsgraad voor de constructie van een bouwkuip: De aanwezigheid of afwezigheid van waterremmende lagen onder de bouwputbodem (deze voorkomen wateroverlast in de put), de stijfheid en sterkte van de lagen naast de bouwput (deze leveren de ondersteuningsreactie voor de damwanden) en de stijghoogte in het eerste watervoerend pakket (een belangrijke oorzaak van wateroverlast en het zogenaamde opbarsten van de putbodem). Daarnaast hangt de geschiktheid van de ondergrond voor constructie van een bouwput sterk af van de diepte van de ondergrondse constructie. Een methodiek voor het maken van ondergronds bouwen kaarten voor ondergrondse ruimten van 6 en 10m diepte is reeds beschikbaar. Een methodiek voor het maken van ondergronds bouwen kaarten voor lineaire structuren als geboorde tunnels is nog niet uitgewerkt. De ondergronds bouwen kaarten zijn gebaseerd op boorgegevens afkomstig uit de DINO-database en worden projectsgewijs gemaakt.

### *Oppervlakedelfstoffen*

Oppervlakedelfstoffenkaarten geven de gebruiker informatie over de aanwezigheid van potentieel winbare delfstoffen als klei- en leem, ophoog-, beton-, en metselzand en grind. Of een afzetting winbaar is wordt bepaald door meerdere factoren. Zo dient de fysische (korrelgrootteverdeling, consistentie) en chemische samenstelling (verontreinigingen, organisch materiaal, e.d.) te voldoen aan de gestelde eisen. Daarnaast bepalen ook factoren als diepteligging, dikte van het afdekkend pakket en de aanwezigheid van zogenaamde stoorlagen of een delfstof winbaar is. De oppervlakedelfstoffenkaarten worden samengesteld op basis van de boorsondeer- en korrelgroottegegevens opgeslagen in de DINO database van TNO-NITG. Oppervlakedelfstoffenkaarten worden vaak projectsgewijs gemaakt. Landelijke overzichten worden gegeven in het 2e Structuurschema Oppervlakedelfstoffen [kaart 6].

### *Gas en oliereservoirs*

Deze overzichtskaart [kaart 7] geeft een landelijk overzicht van de ligging van de olie- en gasreservoirs en gas- en olielijpleidingen op het vasteland en het Nederlands deel van het Continentaal plat.

### *Aardkundige waarden*

Aardkundige waarden kunnen worden omschreven als ‘de kwaliteiten van de niet-levende natuur en het landschap’. Dit kunnen geomorfologische, geologische, bodemkundige of geohydrologische verschijnselen zijn die niet altijd aan het aardoppervlak zichtbaar zijn. De waarde van een fenomeen kan zuiver esthetisch zijn, maar de kwaliteit van een aardkundig element kan ook in de archiefwaarde ervan zijn gelegen. Tot nu toe zijn slechts voor enkele gebieden kaarten met aardkundige waarden gemaakt. De methodiek die aan het vervaardigen van deze kaarten ten grondslag ligt bevindt is nog in de ontwikkelingsfase.

### *Archeologisch waardevolle gebieden*

De lokaties van archeologisch potentieel waardevolle gebieden kunnen worden afgeleid van de Indicatieve Kaart van Archeologische Waarden (IKAW) [kaart 8]. Deze kaart geeft aan waar mogelijk archeologische resten in de bodem kunnen worden aangetroffen. De verwachtingswaarden zijn bepaald op basis van een analyse van de relatie tussen de bodemkundige eenheden, de grondwatertrappen en de archeologische vondsten binnen gebieden met een gelijke fysische genese die in grote lijnen dezelfde mogelijkheden voor bewoning en exploitatie boden. In een aantal gevallen is de bodemkundige informatie niet bruikbaar of onvoldoende (bijvoorbeeld bij begraven landschappen); in dat geval is het kaartbeeld gebaseerd op geologische gegevens.

### *Geothermische potentie*

De *Atlas of Geothermal Resources in the European Community, The Netherlands* [kaart 9] geeft een overzicht van de diepere aquifers (>1000m) binnen Nederland die potentieel geschikt zijn voor het winnen van aardwarmte. De kaarten zijn gebaseerd op boorgegevens en seismische gegevens die voornamelijk door oliemaatschappijen zijn verzameld en aan het TNO-NITG beschikbaar zijn gesteld. Het geothermisch potentieel van de lagen is ingeschat op basis van de temperatuur, diepteligging en dikte en de porositeit van de aquifers.

### *Warmte/koude opslag*

Warmte/koude opslagkaarten geven inzicht in de potentie van de ondergrond als opslagmedium voor warm en koud grondwater. Belangrijke factoren die bepalen of de ondergrond voor warmte/koude opslag geschikt is zijn de samenstelling van het grondwater en de diepteligging, dikte, doorlatendheid en stromingssnelheid in het watervoerende pakket. Er is een methodiek ontwikkeld voor het maken van deze kaarten; de kaarten worden projectsgewijs gemaakt (kaart 10)

### *(Giet)water opslag*

(Giet)wateropslag kaarten geven inzicht in de potentie van de ondergrond als opslagmedium voor gietwater. Belangrijke factoren zijn de samenstelling van het grondwater en de diepteligging, dikte, doorlatendheid en stromingssnelheid in het watervoerende pakket. Er is een methodiek ontwikkeld voor het maken van gietwaterkaarten; de kaarten worden projectsgewijs gemaakt.

### *Bodemkwaliteit*

Op bodemkwaliteitskaarten wordt de kwaliteit van de bovengrond, de ondergrond of het freatische grondwater weergegeven. Voor de verschillende ecosysteemfuncties is de bodemkwaliteit een belangrijke kaart. Bodemkwaliteitskaarten worden projectsgewijs gemaakt.

### *Gevoeligheid*

Gevoeligheidskaarten geven de gevoeligheid van de bodem weer voor uitspoeling van nitraat, uitspoeling van bestrijdingsmiddelen, uitspoeling van metalen, verzuring, verdroging, fosfaatverzadiging en –doorslag. Deze kaarten zijn gemaakt op basis van gegevens van de bodemkaart, bodemkenmerken van de bovengrond (bijv. lutumgehalte, organisch stofgehalte, leemgehalte, ijzerklasse, kalkklasse, pH), grondwatertrappen, stijghoogten van het eerste watervoerend pakket, dikte van het watervoerend pakket, maaiveldhoogten en stroomgebieden. Voor iedere gevoeligheidskaart is beoordeeld welke kenmerken van invloed zijn op de gevoeligheid. Deze gevoeligheidskaarten geven inzicht in de gevoeligheid van de bodem voor bepaalde milieubedreigingen. Ze kunnen worden gebruikt bij het samenstellen van geschiktheidskaarten voor een bepaald landgebruik. Gevoeligheidskaarten worden projectsgewijs gemaakt.

### *Kwetsbaarheid*

Kwetsbaarheidskaarten geven de kwetsbaarheid van het grondwater aan. Het risico van verontreiniging van het grondwater hangt van tal van factoren af, die samen de kwetsbaarheid vormen. Voor bescherming van het grondwater is de kwetsbaarheid van groot belang. De kwetsbaarheid kan o.a. bepaald worden aan de hand van de aard van de watervoerende laag (aard van het sediment en de doorlatendheid), de deklaag (aard van het sediment, de dikte en de hydraulische weerstand) en de onverzadigde zone (dikte). De kwetsbaarheidskaart toont gelijkenis met de bodemgevoeligheidskaart. De bodemgevoeligheidskaart geeft echter de gevoeligheid van de bodem weer voor bijv. uitspoeling van bestrijdingsmiddelen. Deze kaart wordt specifiek voor een bepaalde verontreiniging gemaakt. De kwetsbaarheidskaart geeft in principe de ‘algemene’ kwetsbaarheid van het grondwater weer. Een algemene methodiek voor het maken van deze kaarten is nog niet uitgewerkt.

### *Grondwaterkwaliteitskaarten*

Grondwaterkwaliteitskaarten zijn gebaseerd op analysegegevens van het grondwater in een bepaald watervoerend pakket. Vaak wordt de grondwaterkwaliteit weergegeven op een ‘bolletjes kaart’. Dit betekent dat per filter van een bepaalde parameter de waarde wordt getoond. De grondwaterkwaliteit kan ook worden geïnterpreteerd naar een bepaald type grondwater bijv. met behulp van de Stuyfzand-of TNO-classificatie. Er worden niet vaak vlakdekkende kaarten van de grondwaterkwaliteit gemaakt, omdat hiervoor meestal te weinig gegevens beschikbaar zijn. Grondwaterkwaliteitskaarten worden projectsgewijs gemaakt, bijvoorbeeld in het kader projecten met als doel evaluatie- of optimalisatie van een provinciaal meetnet. De grondwaterkwaliteitsgegevens van het landelijk meetnet (LMG) en van de

verschillende provinciale meetnetten (PMG) zijn opgeslagen in DINO (Grondwater). De gegevens zelf zijn in principe algemeen beschikbaar (soms is toestemming van de beheerder van het meetnet vereist).

#### *Erosiegevoeligheid*

De erosiegevoeligheid van een afzetting wordt onder andere bepaald door de fysische eigenschappen (waaronder korrelgrootteverdeling, cohesie en pakkingsgraad) en de chemische eigenschappen van de afzettingen. Daarnaast wordt de erosiegevoeligheid in sterke mate bepaald door het reliëf van een gebied. Voor erosiegevoeligheidskaarten is nog geen methodiek uitgewerkt.

#### *Corrosiviteit*

De corrosiviteit van de ondergrond wordt bepaald door meerdere factoren. De voornaamste parameters die effect hebben op de corrosie zijn saliniteit (chloridegehalte), zuurstofgehalte en zuurgraad van het grondwater. Daarnaast spelen fysische eigenschappen (doorlatendheid, porositeit) en chemische eigenschappen van de ondergrond (klei-, zand-, carbonaat-, organische stof-, en pyrietgehalte) en de microbiologische activiteit een rol. Kaarten die de basisfactoren weergeven die de corrosiviteit van de ondergrond bepalen kunnen projectsgewijs gemaakt worden. Dit zijn bijvoorbeeld klei- en veendiktekaarten, bodemagressiviteitskaarten en bodemresistiviteitskaarten, en 'bolletjeskaarten' waarop de chlorideconcentratie, zuurgraad en redoxtoestand van het grondwater staan weergegeven.

### 3. Werkwijze

#### 3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk zullen de matrices van activiteit 3 in BAGEO fase 3 verder toegelicht worden, alsmede de aansluiting met de andere deelprojecten.

#### 3.2 Matrices

Op basis van een hoofdindeling van mogelijke functies van de ondergrond (annex 2) is een werkbare indeling gemaakt van functies van de Nederlandse ondergrond. Deze indeling is tijdens een workshop besproken en verfijnd. De matrices zijn gevuld op basis van de expertise van TNO-NITG en Royal Haskoning.

- De in Nederland mogelijke functies in combinatie met de parameters (eigenschappen van de bodem die geschiktheid bepalen) :  $Fo * P$
- Kansen en bedreigingen voor de combinatie van ondergrondse functies:  $Fo * Fo$
- Kansen en bedreigingen voor de combinatie van onder- en bovengrondse functies:  $Fo * Fb$

De matrices zijn opgesteld om de kansen voor een duurzaam gebruik van de ondergrond zo vroeg mogelijk in het planningsproces mee te nemen. Meestal is er al een beeld van de te realiseren inrichting. In de meeste gevallen zullen de bovengrondse functies als eerste bekeken worden door de planners. Met behulp van de matrix  $Fo * Fb$  kan gekeken worden welke ondergrondse functies hier goed bij passen en in  $Fo * Fo$  welke ondergrondse functies goed gecombineerd kunnen worden. Met de matrix  $Fo * P$  kan de geschiktheid van de bodem voor deze functies getoetst worden. Ook kan hier worden gezien welke kaartdata benodigd is voor de toetsing van de ondergrondse functie aan de bodemparameters. Bij het analyseren van de aansluiting van functies en bodem verloopt dit proces andersom.

Door middel van het inzetten van de matrices, kunnen dus zowel de te verzamelen kaarten, alsmede mogelijkheden voor een inrichtingsvraagstuk en verrassende variaties op functiecombinaties boven en onder de grond kunnen worden gevonden.

De matrices zijn generiek van opzet en moeten dan ook niet worden gezien als een volledig overzicht van ondergrondse functies voor een specifieke situatie. De matrices zijn bedoeld om de doelgroep (initiatiefnemers, toetsers, planners en bijvoorbeeld beleidsmakers) een indruk te geven van de mogelijkheden die de ondergrond biedt en met welke aspecten er rekening moet worden gehouden.

De drie functiematrices ( $Fo * P$ ,  $Fo * Fo$ ,  $Fo * Fb$ ) kunnen gebruikt worden door een brede groep gebruikers (planologen, ontwerpers, beleidsmakers) die handvaten willen hebben voor het betrekken van de ondergrond in de (her)inrichting van een gebied.

De assen van de matrices zijn aan de hand van workshops samengesteld en verder uitgewerkt. In hoofdstuk 4 t/m 6 staat de methodologie voor het ontwerp en de invulling van de matrices specifiek beschreven. In hoofdstuk 7 worden de matrices aan de werkelijkheid getoetst in de schaduwplannen.

### 3.3 Schaduwplannen

Uit het BAGEO project is naar voren gekomen dat er behoefte bestaat aan voorbeeldprojecten, waarin niet alleen ondergrondse benuttingmogelijkheden worden gedemonstreerd, maar ook de wijze waarop het BAGEO afwegingskader kan worden toegepast en de meerwaarde daarvan, zowel inhoudelijk als procesmatig.

Om meer ervaring op te doen met een breed afwegingskader voor de ondergrond, is besloten om in BAGEO schaduwplannen uit te werken. Het primaire doel van de schaduwplannen is in de praktijk aan te tonen hoe de ondergrond vroegtijdig in ruimtelijke planvorming kan worden meegenomen en de meerwaarde van deze werkwijze te demonstreren. In de schaduwplannen wordt met name aandacht besteed aan de kansen en bedreigingen van ondergrondse benutting, mogelijke alternatieven voor bestaande of in ontwikkeling zijnde plannen, en de wijze waarop vroegtijdig in het planvormingsproces alternatieven op hun effecten kunnen worden beoordeeld en duurzame keuzes kunnen worden gemaakt ten aanzien van de locatie en inrichting van ondergrondse functies.

Als schaduwplannen zijn meegenomen:

- Rotterdam Centraal
- Transformatiegebied Alphen a/d Rijn-Bodegraven

#### *Concrete activiteiten*

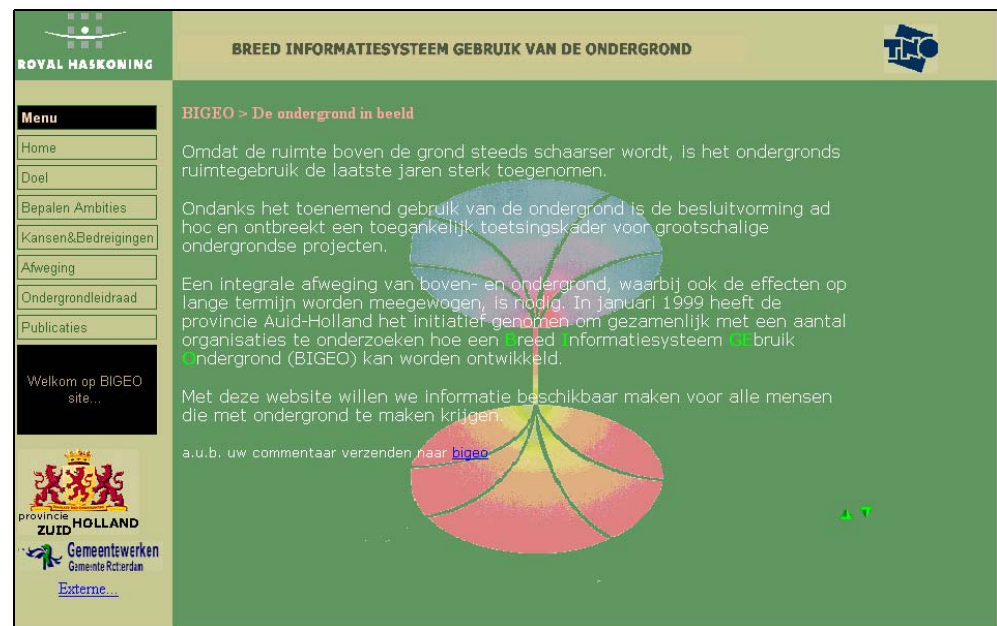
Voor Rotterdam CS zal een alternatief plan worden opgesteld met ondergrondse benutting. Een brede afweging zal vervolgens duidelijk moeten maken waar en hoe eventuele winst van ondergrondse benutting aanwezig is. Het beoogde alternatief kan worden geplaatst naast de huidige alternatieven. Er wordt voortgebouwd op de resultaten van fase 2.

Voor Alphen-Bodegraven worden duurzame locaties, inrichtingskeuzes en onderliggende duurzaamheidscriteria voor de verschillende functies uitgewerkt. De aanpak is vergelijkbaar met de aanpak gebruikt bij de herinrichting van het Zuidplaspoldergebied.

In hoofdstuk 7 zullen de zullen een aantal specifieke vragen over de aansluiting bij de matrices uit deze deelactiviteit behandeld worden.

### 3.4 BIGEO

Binnen de netwerkgeving BIGEO (figuur 3.1) worden de verschillende resultaten van het project BAGEO gecommuniceerd naar de buitenwereld. De website heeft als doel om in de toekomst de verschillende betrokken partijen te informeren over ondergronds ruimtegebruik. De website heeft een informatief karakter en zal niet als interactief netwerk fungeren, met behulp van de website zal de gebruiker in de toekomst informatie over de verschillende onderdelen weten te vinden om uiteindelijk een goede afweging te maken voor het gebruik van de ondergrond, zodat bij de (her)inrichting van gebieden de ondergrond als volwaardige partner wordt meegewogen. Op de site zullen de 3 matrices opgesteld binnen het deelproject kaarten toegankelijk zijn. Ook zullen de andere resultaten van de deelactiviteiten gepresenteerd worden op de website.



Figuur 3.1 BIGEO website.





#### 4. Combinatie ondergrondse gebruiksfuncties met ondergrond

Het accent van deze studie ligt op de matrices en niet zozeer op het maken van bodemgeschiktheidskaarten. De basisentiteit is de *ruimtelijke functie* en niet de kaart. Onderhavige studie geeft dan ook niet zozeer een handreiking voor het maken van kaarten, maar meer voor het bepalen van de *benodigde* kaarten. (Zie ook bijlage 4).

Tabel 4.1. geeft overzicht van de verschillende mogelijke ondergrondse gebruiksfuncties. Uit deze figuur blijkt dat per ondergrondse gebruiksfunctie ( $F_0$ ) meerdere kaarten ( $p$ ) relevant zijn voor de toetsing of de gebruiksfunctie optimaal aansluit bij de eigenschappen en potenties van de ondergrond ( $F_0 * p$ ). Een aantal van de thematische kaarten geeft direct weer of de ondergrond geschikt is voor de geplande gebruiksfunctie. Zo heeft het inrichten van de ondergrond als winningslokatie voor oppervlakedelfstoffen alleen zin als deze oppervlakedelfstoffen ook daadwerkelijk in de ondergrond aanwezig zijn (oppervlakedelfstoffenkaart). Het aanwijzen van de ondergrond als opslagmedium voor warmte en koude opslag is alleen zinvol als de eigenschappen van de ondergrond en het grondwater hiervoor geschikt zijn; de doorlatendheid en dikte van de watervoerende pakketten moet voldoende zijn en de snelheid van grondwaterstroming beperkt (kaart warmte/koude opslag).

Daarnaast moet aandacht besteed worden aan de gevolgen en effecten van de ingrepen in de ondergrond. De winning van oppervlakedelfstoffen en de opslag van water zijn ingrepen in de ondergrond, die zelf een aantal gevolgen en effecten op het ondergrondsysteem en de omgeving hebben. Zo dient in een aantal gevallen voor winning van delfstoffen ‘in den droge’ het grondwater gedurende langere tijd verlaagd te worden. De grondwaterstandverlaging kan leiden tot zettingen in de omgeving, het aantrekken van verontreinigd grondwater en het optrekken van het brak of zout grensvlak. De ontgravingswerkzaamheden kunnen leiden tot trillingen, die zich afhankelijk van het type ondergrond in meer of mindere mate door de ondergrond voortplanten. De gevolgen en effecten van de ingreep in het ondergrondsysteem kunnen met behulp van de in tabel 4.1 genoemde thematische kaarten worden ingeschat. Ook deze factoren dienen bij de beoordeling of een gebruiksfunctie goed aansluit bij de eigenschappen en potenties van de ondergrond te worden meegewogen.



Hieronder volgt per functie een korte beschrijving van de relevante kaarten:

#### 4.1 Leverancierfunctie

*(Drink)water.* Informatie over de geohydrologische eigenschappen van de ondergrond en het geohydrologisch systeem ter plaatse van de geplande winning kan afgeleid worden uit de kaarten die in tabel 1 zijn samengevoegd onder de kop ‘grondwaterkaarten’. Naast deze kaarten geeft ook de geomorfologische kaart een eerste inzicht in het geohydrologische systeem en de grondwaterstromingen ter plaatse van de ingreep. Kwaliteitsgegevens (bodem en grondwater) zijn belangrijk voor de beoordeling of het gebied zich leent voor de winning van (drink)water. Gevoeligheidskaarten geven inzicht in de risico’s op verontreiniging door bijvoorbeeld uitspoeling van bestrijdingsmiddelen. Verlagen van grondwaterstanden ten gevolge van de onttrekkingen kunnen leiden tot ongewenste bodemdaling door de consolidatie van slappe klei- en veenafzettingen en de oxidatie van veengronden. De veen- en kleidiktekaarten en de zettingsgevoeligheidskaarten geven inzicht in de gevoeligheid van de ondergrond voor zettingen en oxidatie van veen.

*Oppervlakedelfstoffen: klei, leem, zand en grind.* De oppervlakedelfstoffenkaarten geven weer of er in de ondergrond op winbare diepte delfstoffen worden aangetroffen. Het betreft hier vaak landelijke en provinciale overzichten, maar de kaarten kunnen in principe ook op lokale schaal gemaakt worden. De grondwaterkaarten kunnen gebruikt worden bij de inschatting van de gevolgen van de winning op het grondwatersysteem (bijvoorbeeld door het weghalen van een deel van de deklaag) en, indien een ontgraving in den droge gepland is, voor het eerste ontwerp van de bemaling. De effecten van deze tijdelijk bemalingen en grondwaterstandsverlagen kunnen worden ingeschat met behulp van de klei- en veendiktekaart en de zettingsvoeligheidskaarten. De bodemkwaliteitskaarten en grondwaterkwaliteitskaarten geven informatie over de kwaliteit van de vrijkomende grond en het grondwater dat wordt opgepompt en aangetrokken tijdens bemaling. De trillingsgevoeligheidskaarten geven inzicht in het risico op trillings-, geluidshinder en eventuele schade veroorzaakt door de ontgravingswerkzaamheden. Als laatste kunnen erosiegevoeligheidskaarten worden gebruikt om na te gaan of baggerwerkzaamheden leiden tot een verhoogd risico op erosie.

*Diepe delfstoffen: olie, gas, zout en aardwarmte.* Kaarten met de ligging van olie- en gasreservoirs, de Atlas van de diepe ondergrond (waarop onder andere informatie is weergegeven over het al of niet voorkomen van zoutlagen en zoutdiapieren) en afgeleide kaarten met het geothermisch potentieel geven aan of er in de diepere ondergrond potentieel winbare delfstoffen worden aangetroffen. Winning van delfstoffen kan leiden tot spanningsveranderingen in de ondergrond en de reactivatie van breuken (geïnduceerde aardbevingen). De sterkte waarmee deze aardbevingen aan het aardoppervlakte worden gevoeld hangt af van veel factoren, zoals de diepte van de winning, de samenstelling van de diepere ondergrond maar ook de samen-

stelling van de ondiepe ondergrond. Bij een ongunstige samenstelling van de ondiepe ondergrond kan de trilling versterkt worden.

Trillingsgevoeligheidskaarten geven een indicatie van de invloed van de ondiepe bodem op de trillingen en de hinder en schade die de aardbevingen aan het oppervlakte kunnen veroorzaken.

## 4.2 Reservoirfunctie

*Bodemarchief en aardkundige waarden.* Relevante kaarten voor deze reservoirfunctie van de ondergrond zijn kaarten waarop aardkundige waarden of archeologisch (potentieel) waardevolle gebieden staan weergegeven. Geologische kaarten, bodemkaarten, geohydrologische, geomorfologische en landschapsgenetische kaarten kunnen worden gebruikt bij de inventarisatie van aardkundige waarden en het aanwijzen van locaties waar de ondergrond een archieffunctie kan vervullen.

*Verontreinigingen.* De ondergrond kan dienen als (tijdelijk) opslagmedium voor verontreinigingen. Aspecten die hierbij een belangrijke rol spelen zijn onder andere de risico's op verspreiding van de verontreinigingen, de fysische, chemische en microbiologische eigenschappen van de bodem zelf (o.a. voor de binding van stoffen aan de bodem en de natuurlijke afbraak van verontreinigingen) en de bodemkwaliteit (natuurlijke achtergrondwaarden, e.d.). Zowel de grondwaterkaarten, bodemkaarten, bodemgevoeligheidskaarten, bodemkwaliteitskaarten en bodempotentieekaarten leveren hiervoor relevante informatie.

*(Giet)water en de opslag van koude en warmte.* Uit de grondwaterkaarten kan informatie over de geohydrologische eigenschappen van de ondergrond en het geohydrologisch systeem ter plaatse verkregen worden. Ook de geomorfologische kaart geeft inzicht in het geohydrologische systeem en de grondwaterstromingen ter plaatse van de ingreep. Uit beide typen kaarten kan een eerste indruk worden verkregen of de ondergrond zich leent voor de opslag van (giet)water en koude/warmte. Uit gegevens over de grondwaterkwaliteit kan bijvoorbeeld informatie worden verkregen over het optreden van (ongewenste) menging van verschillende types grondwater. De veen- en kleidiktekaarten en de zettingsgevoeligheidskaarten geven inzicht in de effecten van de fluctuaties in grondwaterstanden veroorzaakt door het afwisselend infiltreren en onttrekken van grondwater. Fluctuaties in grondwaterstanden kunnen leiden tot ongewenste zettingen aan maaiveld en de oxidatie van veengronden.

*Gas opslag (waaronder CO<sub>2</sub>-opslag).* In Nederland is een inventarisatie uitgevoerd van de mogelijkheden van ondergrondse opslag van CO<sub>2</sub>. Opslag kan in principe (bij voldoende opslagcapaciteit) plaatsvinden in (lege) aardgasvelden, olievelden en diepere aquifers. De opslag in zoutcavernes biedt minder perspectief, gezien het enorme benodigde ruimtebeslag binnen één zoutvoorkomen en de mogelijke instabiliteit van de holruimten. Informatie over de ligging van gas- en olievelden kan

verkregen worden uit het bestaand kaartmateriaal met olie- en gasreservoirs. Informatie over de samenstelling van de diepere ondergrond en de aanwezigheid van mogelijk geschikte aquifers kan verkregen worden uit de Atlas van de diepe ondergrond van Nederland. Uit deze kaarten kan ook informatie verkregen worden over de breuksystemen in de ondergrond. Bij injectie van gas en CO<sub>2</sub> in de ondergrond treden spanningsveranderingen op die eventueel kunnen leiden tot het reactiveren van breuksystemen en geïnduceerde aardbevingen. Inzicht in mogelijke versterkingen van deze geïnduceerde aardbevingen nabij het oppervlak kan verkregen worden uit de trillingsgevoeligheidskaarten.

*(Radio)actief afval.* Voor de beoordeling of opslag van afval ondergronds kan plaatsvinden is met name informatie over het grondwatersysteem en de aan- of afwezigheid van slecht doorlatende lagen belangrijk. Voor de opslag van radioactief afval kan worden gedacht aan de dieper gelegen, continue, slecht doorlatende kleipakketten. Daarnaast is in Nederland onderzoek verricht naar de mogelijke opslag van radioactief afval in zoutdiapieren. Naast (diepere) grondwaterstromingen vormen tektoniek en breukbewegingen een risico voor de ondergrondse opslag van (radioactief) verontreinigd materiaal. De informatie over de aanwezigheid van diepere kleilagen, zoutafzettingen en breuksystemen kan worden verkregen uit de kaarten van de diepere geologie van Nederland. Informatie over het grondwatersysteem kan afgeleid worden uit de grondwaterkaarten.

### 4.3 Ruimte/reservoir functie

*Ondiepe en diepe bouwputten en lineaire structuren.*

De aan- of afwezigheid van afsluitende kleilagen en slappe veenlagen, de stijghoogte van het grondwater, en de sterkte en stijfheid van de ondergrond bepalen in sterke mate de aanleg- en onderhoudskosten voor ondergrondse bouwwerken als parkeergarages, stations, tunnels en kabels en leidingen. Een eerste indruk van de geschiktheid van de ondergrond voor ondergronds bouwen kan dan ook verkregen worden uit de klei- en veendiktekaart, zettingsgevoeligheidskaart, grondwaterkaart, top Pleistoceenkaart en de funderingsdieptekaart. De zogenaamde 'ondergronds bouwen kaarten' combineren eigenschappen uit deze kaarten en geven rechtstreeks informatie over de geschiktheid van de ondergrond voor ondergronds bouwen. Nadeel van deze kaarten is echter dat zij specifiek informatie geven over een bepaald diepteniveau voor de bouwput. Wanneer diepere of ondiepere bouwwerken gepland worden zijn de kaarten slechts beperkt bruikbaar. Er dient rekening gehouden te worden met de kwaliteit van de grond die vrijkomt bij ontgravings- en boorwerkzaamheden en de kwaliteit van het grondwater dat eventueel wordt onttrokken. Ondergrondse objecten kunnen barrières voor grondwaterstromingen vormen. Op basis van de grondwaterkaarten kan beoordeeld worden of er risico's zijn op barrièrewerking. Uit trillingsgevoeligheidskaarten wordt een indruk verkregen van de eventuele trillingshinder, bijvoorbeeld rondom ondergrondse spoortun-

nels. Corrosiviteitskaarten geven een indicatie van de corrosiesnelheid van de constructiematerialen (staal).

#### **4.4 Ecosysteemfunctie**

*Regulering, uitwisseling en zuivering.* De regulerings, uitwisselings- en zuiveringsfunctie van de (ondiepe) ondergrond worden in sterke mate bepaald door de waterhuishouding en de fysische, chemische en (micro)biologische eigenschappen van de bodem. Informatie over deze eigenschappen wordt verkregen uit de grondwaterkaarten en de kaarten die informatie geven over de kwetsbaarheid en de kwaliteit van het grondwater, en de aard, de kwaliteit en de gevoeligheid van de bodem.

## 5. Combineren van ondergrondse functies

Ondergrondse functies stellen eisen aan de opbouw en eigenschappen van de ondergrond. Het gebruik van de ondergrondse ruimte voor een functie heeft gevolgen voor de functionaliteit van de ondergrond en effecten op de omgeving. Er zijn functies die niet samengaan omdat zij elkaar beconcurreren om ondergrondse ruimte, tegenstrijdige eisen aan de ondergrond stellen of elkaars (negatieve) effecten op het ondergrondsysteem en de omgeving versterken. Veel functies gaan redelijk goed samen omdat zij zich op een ander diepteniveau afspelen. Ook gaan sommige functies juist erg goed samen en versterken ze elkaar. Tegenwoordig wordt ondergronds bouwen al regelmatig toegepast maar ook combinaties van ondergrondse functies kunnen een goede uitkomst leveren. Binnen BAGEO is een matrix ontwikkeld, aan de hand van welke initiatiefnemers, toetsers maar ook planners en beleidsmakers om een eerste indruk kunnen krijgen van de combinaties van ondergrondse mogelijkheden.

### 5.1 Opbouw van de matrix

De matrix is opgebouwd uit 2 assen. Op zowel de horizontale als verticale as worden verschillende ondergrondse functies weergegeven. Dit zijn dezelfde ondergrondse functies als degene die in beschouwing zijn genomen bij de matrix  $F_0 * P$  (hoofdstuk 4).

### 5.2 Invulling van de matrix

Voor de invulling van de matrix is gebruik gemaakt van verschillende ervaringen vanuit verschillende invalshoeken. De assen van de matrices zijn eerst getoetst bij de projectgroepleden van het consortium. De projectgroepleden hebben met behulp van hun ervaringen in de schaduwplannen de bovengrondse functies aangescherpt en aangevuld.

### 5.3 Hoe te gebruiken

De matrix is opgenomen in bijlage 2. In de matrix wordt een overzicht gegeven van alle mogelijke combinaties van functies ( $F_0 * F_0$ ). In matrixvorm is per tweetal functies aangegeven of de functies elkaar versterken, samengaan zonder elkaar te beïnvloeden of juist niet samengaan. Daarbij is de volgende legenda aangehouden:

- Rood: functies gaan niet goed samen; de ene functie kan negatieve gevolgen hebben voor de andere functie, of de functies beconcurreren elkaar om ondergrondse ruimte;

- Blauw: functies storen elkaar in principe niet (soms wel aanvullende maatregelen nodig), functies hebben een verschillend dieptebereik en beconcurreren elkaar niet om ondergrondse ruimte;
- Groen: functies gaan goed samen en versterken elkaar (win-win-situatie); functies beconcurreren elkaar niet om ondergrondse ruimte.
- Wit: onvoldoende informatie

### *Voorbeelden*

Uit de matrix in bijlage 2 blijkt dat functie-combinaties, waarbij de functies gebruik maken van een ander dieptebereik van de ondergrond relatief veel voorkomen. Deze functies kunnen in principe goed ‘gestapeld’ worden. De winning van oppervlakedelfstoffen vindt plaats op dieptes tot ca. 50m beneden het maaiveld. Olie- en gaswinning uit reservoirs vindt plaats op enkele kilometers diepte; beide functies beconcurreren elkaar niet om ondergrondse ruimte.

Niet alle functies gaan zo goed samen: zo gaat de gebruiksfunctie van de ondergrond als leverancier van oppervlakedelfstoffen niet samen met de reservoirfunctie van de ondergrond als bodemarchief. De ontgravingswerkzaamheden voor de delfstoffenwinning leiden tot een permanente vernietiging van het bodemarchief. Andere functies kunnen wel redelijk goed gecombineerd worden. Enkele functies gaan niet alleen goed samen, maar versterken elkaar zelfs: Aardgasvelden (leverancierfunctie) kunnen goed gebruikt worden voor opslag van CO<sub>2</sub> (reservoirfunctie). Gas injectie in producerende aardgasvelden kan de produktie verhogen.

De matrix in bijlage 2 blijkt ook dat de leverancierfunctie voor grondwater slecht combineert met reservoirfuncties op een zelfde diepteniveau, zoals (giet)water, warmte-koude opslag en de reservoirfunctie voor verontreinigingen. De leverancierfunctie voor grondwater combineert daarnaast ook slecht met diepere leverancierfuncties als olie, gas- en zoutwinning. Dit zijn functies waarbij het grondwater potentieel verontreinigd kan raken. Diepere bouwputten en tunnels kunnen de stroming in het watervoerend pakket verstoren; daarnaast wordt voor bouwputten vaak tijdelijk gebruik gemaakt van spanningsbemalingen in het watervoerend pakket, waardoor de winning tijdelijk verstoord wordt. De leverancierfunctie voor grondwater gaat in principe wel samen met de ecosysteemfuncties van de ondergrond. Een belangrijke voorwaarde hierbij is echter wel dat de ondiepe waterhuishouding niet sterk wordt veranderd door de grondwateronttrekking. Veranderingen in waterhuishouding leiden tot veranderingen in zuurstofhuishouding en fysische, chemische en biologische eigenschappen van de bodem. Hierdoor kunnen de ondiepe ecosysteemfuncties verstoord worden.

Bij de winning van oppervlakedelfstoffen en het gebruik van de ondergrond als verblijfsruimte en ruimte voor tunnels wordt de grond ontgraven en definitief verwijderd. Dergelijke functies gaan vaak niet samen met functies die in hetzelfde dieptebereik een beroep doen op de ondergrond als reservoir en opslagmedium (bodemarchief, aardkundige waarden). Hetzelfde geldt voor de ecosysteemfunctie



van de ondergrond: door het verwijderen van de grond wordt deze definitief verstoord.

De functie van de diepe ondergrond als leverancier van olie- gas en steenzout kan gecombineerd worden met de meeste andere ondiepe functies. Wel dient er hierbij rekening gehouden te worden dat er een versterking van een negatieve effect als bodemdaling op kan treden. De winning van aardgas combineert goed met de reservoierfunctie voor CO<sub>2</sub>-opslag.

De functiecombinaties waarin de ondergrond wordt gebruikt als opslagmedium van radioactief afval zijn wit ingekleurd. Tot nu toe is in Nederland weinig ervaring opgedaan met de ondergrondse opslag van radioactief afval. Waarschijnlijk is de opslag van radioactief afval vanuit veiligheidsoverwegingen moeilijk te combineren met veel van de andere ondergrondse functies.

Bovenstaande beschrijving is niet uitputtend. Voor een gedetailleerde beschrijving van de functiecombinaties  $F_0^*F_0$  wordt verwezen naar annex 5.



## 6. Combinatie bovengrondse en ondergrondse functies

Bij de (her)inrichting van Nederland neemt de laatste jaren de bovengrondse druk op de ruimte toe; niet alleen in de randstad, waar de bovengrondse ruimte schaars is, maar ook in de overige delen van Nederland. Bij bouwprojecten in de open ruimte in het noorden van Nederland moet de ecologische hoofdstructuur gehandhaafd blijven. Ook neemt het aantal “groenprojecten” toe waar ruimte voor gevonden moet worden.

De ondergrond biedt perspectieven in deze situaties. Maar ook de druk op de ondergrond neemt hierdoor toe. De behoefte aan een overzicht van boven- en ondergrondse functiecombinaties neemt hierdoor toe. De ervaring leert dat ondergronds bouwen al regelmatig wordt toegepast maar ook andere ondergrondse functies kunnen een goede uitkomst leveren. Binnen BAGEO is een matrix ontwikkeld, aan de hand van welke initiatiefnemers, toetsers maar ook planners en beleidsmakers een eerste indruk kunnen krijgen van de ondergrondse mogelijkheden in combinatie met verschillende bovengrondse toepassingen.

### 6.1 Opbouw van de matrix

De matrix is opgebouwd uit 2 assen. Op de horizontale as worden verschillende bovengrondse functies weergegeven, verticaal worden de ondergrondse functies weergegeven.

Voor de ondergrondse functies is zoveel mogelijk aangesloten bij de andere twee matrices, echter de hoofdgroep ecosysteem is buiten beschouwing gelaten. Dit laatste is met name gedaan doordat de bovengrondse inrichting niet onderscheidend is voor het ecosysteem. Voor iedere inrichting zal een goede afweging van het ecosysteem moeten worden gedaan.

De bovengrondse functies zijn op een globaal niveau weergegeven om te voorkomen dat de matrix te groot en onoverzichtelijk zou worden.

Zo zijn specifieke bovengrondse functies niet uitgeschreven maar passen wel in de generieke benamingen. Een voorbeeld hiervan is een winkelcentrum. Afhankelijk van de plaats van dit object valt dit bijvoorbeeld in een stadscentrum of een uitbreidingsgebied. De ligging van het object is in dit soort gevallen toch vaak meer onderscheidend voor de wenselijke ondergrondse functies.

### 6.2 Invulling van de matrix

Voor de invulling van de matrix is gebruik gemaakt van verschillende ervaringen vanuit verschillende invalshoeken. De assen van de matrices zijn eerst getoetst bij de projectgroepleden van het consortium. De projectgroepleden hebben met behulp

van hun ervaringen in de schaduwplannen de bovengrondse functies aangescherpt en aangevuld.

Vervolgens is voor de invulling van de matrix gebruik gemaakt van zowel de projectgroep als adviseurs van buiten de projectgroep. Gezocht is naar aanvulling op het gebied van ruimtelijke planning en beleidsmakers op het gebied van ruimtelijke ordening.

In onderstaande tabel is aangegeven van welke invalshoeken gebruik is gemaakt om de tabel te vullen:

Tabel 6.1 *Projectgroep invulling matrix Fo\*Fb.*

Naam	Bedrijf	Invalshoek
Ben Fisser	Provincie Zuid-Holland	Bodembescherming
Liesbeth Schipper	Royal Haskoning	Ondergrond/ bodem
Pascal Lambrigts	Royal Haskoning	Beleidsmaker RO
Frederique Huijgen	Royal Haskoning	Ruimtelijke planner/inrichter
Marleen Kriekaard	Royal Haskoning	Bodem

De input van bovenstaande personen is gecombineerd in de matrix en getoetst bij de betreffende personen en het consortium.

Vanuit het consortium is vooral gekeken vanuit de ervaringen met de schaduwplannen. De matrix is een globaal overzicht van mogelijke combinaties van boven- en ondergrondse functies. De matrix moet dan ook niet gezien worden als totaal overzicht van ondergrondse functies en kan in de loop van de tijd worden aangevuld.

### 6.3 Hoe te gebruiken

De matrix is een hulpmiddel om een indruk te krijgen welke ondergrondse functies van toepassing kunnen zijn bij een specifieke bovengrondse inrichting. De matrix is bijgevoegd in bijlage 3.

De matrix is naar gelang van compatibiliteit ingekleurd:

Rood: functies gaan niet goed samen; de ene functie kan negatieve gevolgen hebben voor de andere functie, of de functies beconcurreren elkaar.

Blauw: functies storen elkaar in principe niet (soms wel aanvullende maatregelen nodig)

Groen: functies gaan goed samen en versterken elkaar (win-win-situatie)

Wit: onvoldoende informatie

In de cellen zijn nummers aangegeven die verwijzen naar een aanvullende tekst.

De matrix is zo opgezet dat hij op de BIGEO-website makkelijk toegankelijk is. Op de website kan een gebruiker de matrix raadplegen, een bovengrondse functie kiezen en vervolgens naar beneden scrollen en per cel bekijken of een ondergrondse

functie wel of niet relevant is. Bij het aanklikken van de cel komt vervolgens de aanvullende tekst te voorschijn.

*Voorbeeld:*

Wanneer een initiatiefnemer van plan is om een uitgaanscentrum te gaan bouwen kan het voor het project interessant zijn de verschillende ondergrondse functies (zoals aangegeven in de matrix) in het planningsproces mee te nemen.

Vanuit de tabel levert dit bijvoorbeeld op dat het interessant kan zijn om grondstofwinning af te wegen alvorens de bouw wordt gestart. Daarnaast kan bodemarchief, bijvoorbeeld archeologische waarden, als publiekstrekker, tentoongesteld worden in een (ondergrondse)ruimte van het uitgaanscentrum. Verontreinigingen kunnen stagnerend werken op het uitvoeringsproces en moeten van tevoren goed in kaart gebracht worden. Afhankelijk van de energievraag van het uitgaanscentrum kan ook gedacht worden aan warmte & koude opslag. Voor de uitstraling en bereikbaarheid van het centrum zou het ook wenselijk kunnen zijn om bepaalde onderdelen en de infrastructuur rondom het uitgaanscentrum ondergronds te brengen. Naast de boven- versus ondergrondsefunctie matrix is het natuurlijk ook van belang om de randvoorwaarden van de ondergrondse functies (Fo\*P) en de onder- versus ondergrondse functie matrix (Fo\*Fo) in het planningsproces mee te nemen.



## 7. Toetsing matrices aan schaduwprojecten

### 7.1 Inleiding

“Het primaire doel van de schaduwplannen vanuit BAGEO is het aantonen van het nut en de noodzaak van het BAGEO afwegingskader. Met name ten aanzien van de kansen en bedreigingen van ondergrondse benutting, mogelijke alternatieven voor bestaande of in ontwikkeling zijnde plannen, en de wijze waarop vroegtijdig in het planvormingsproces alternatieven op hun effecten kunnen worden beoordeeld en duurzame keuzes kunnen worden gemaakt ten aanzien van de locatie en inrichting van ondergrondse functies” (Basisprojectplan, 2001).

Om te evalueren wat BAGEO in praktijk kan bijdragen, zijn aan de uitvoerders een aantal specifieke vragen gesteld. Daarbij werd vooral aandacht besteed aan de kansen en bedreigingen voor ondergronds ruimtegebruik, de informatievraag en de hiaten en de meerwaarde die het BAGEO afwegingskader toonde in praktijksituaties. De komende paragrafen bevatten een korte beschrijving van de schaduwplannen en conclusies mbt de aansluiting op de matrices. De beantwoording van de gestelde vragen is te vinden in bijlage 5.

### 7.2 Alphen-Bodegraven

#### 7.2.1 Beschrijving schaduwplan

De Oude Rijn stroomt door het Groene Hart van Utrecht tot aan de oude Rijnmonding bij Katwijk. De oevers van de Oude Rijn worden intensief benut voor wonen, werken en verkeer (figuur 7.1).

De Kwaliteitszoning Groene Hart (2000) biedt een globaal beeld van de gebieds-differentiatie die op termijn voor het Groene Hart wordt nagestreefd, waarbij voor de deelgebieden een kwaliteitsbeeld en een verbeterings- en transformatieopgave is geformuleerd. De zone Alphen-Bodegraven is in de Kwaliteitszoning opgenomen als “Transformatiezone/infra”.

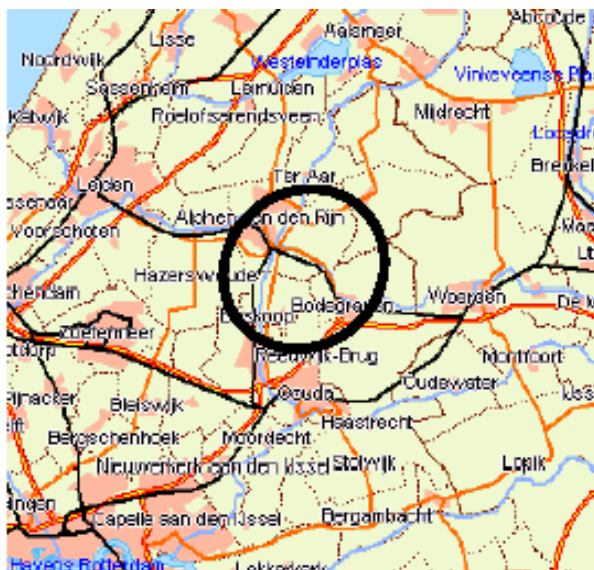
#### *Transformatiezone/infra*

##### *Kwaliteitsbeeld*

- Zone in de invloedssfeer van grootschalige infrastructuur met robuuste groenblauwe verbindings- en geleidingszones, afgewisseld met stedelijke functies gekoppeld aan de infrastructuur.

### *Verbeterings/transformatieopgave*

- Versterking groen-blauwe kwaliteiten, vooral gericht op landschappelijke geleiding, ecologische en recreatieve verbinding en verminderen van de barrièrewerking van infrastructuur;
- Rood-groene opgave in relatie tot stedelijk netwerk randstad;
- Per saldo groen-blauwe kwaliteitswinst.



Figuur 7.1 De Oude Rijn tussen Alphen en Bodegraven

Bij het verwezenlijken van de transformatieopgave heeft het gebied tussen Alphen en Bodegraven rekening te houden met verschillende ontwikkelingen. Ten eerste wordt de nieuwe N11 tussen Alphen aan den Rijn en Bodegraven aangelegd. De nieuwe N11 heeft een aansluiting bij Alphen aan den Rijn en een aansluiting bij Bodegraven. Daarnaast komt ten zuidoosten van Alphen aan den Rijn een containerterminal. Deze containerterminal zal via de Gouwe over het water ontsloten worden. Ook liggen er plannen voor de ontwikkeling van de Rijn-Gouwelijn, waardoor het gebied eveneens via het spoor wordt ontsloten. Naast deze stedelijke ontwikkelingen worden er voor het gebied ecologische randvoorwaarden gesteld. Het gebied aan de noordzijde van de Oude Rijn is aangewezen als Belvédèregebied en bezit hoge natuurlijke en cultuurhistorische waarden, het gebied ten zuiden van de infrastructuur heeft voornamelijk hoge natuurwaarden, maar is wel meer versnipperd. Deze gebieden mogen niet worden aangetast.

Er liggen voor het gebied nog enkele wensen vanuit het beleid. Twee ecologische verbindingzones zouden in het gebied moeten worden gepland, een zone ten noorden van Bodegraven en een noord-zuid verbindingzone tussen Zwammerdam en Alphen. Daarnaast is realisatie van de 'Natte As' gewenst die ook de Oude Rijnzone doorkruist. De Natte As is een robuuste ecologische verbinding die de grote natte natuurgebieden van het Lauwersmeer tot de Zeeuwse Delta met elkaar verbindt. In de Oude Rijnzone bestaan er momenteel twee varianten, waarbij ook de



mogelijkheid bestaat om de Natte As te combineren met een ecologische verbindingzone.

Met bovenstaande ontwikkelingen moet in de transformatieopgave rekening worden gehouden. (Kwadijk en Ypma 2002).

### 7.2.2 Aansluiting aan matrices

De uitgebreide beantwoording van de vragen die gesteld zijn voor de aansluiting op de matrices zijn opgenomen in bijlage 5.

Het is belangrijk om uit het omvangrijke ‘informatiearchief’ dat bodem en ondergrond biedt die informatie op kaart weer te geven die meerwaarde biedt voor duurzame (ruimtelijke) ontwikkeling. Deze informatie valt uiteen in twee groepen: informatie over intrinsieke kwaliteiten en essentiële informatie over gebruiks- en benuttingsmogelijkheden. Deze tweede groep is daarmee functieafhankelijk, met andere woorden: de technische informatie wordt geïnterpreteerd uitgaande van een bepaalde vraag. Het beantwoorden van deze vraag is tijdgebonden.

De ruimtelijk differentiërende informatie is vervat in kaartbeelden. Voor deze beelden is een streefbeeld geformuleerd voor duurzaam instandhouden of ontwikkelen van het betreffende thema. Uit dit streefbeeld zijn per functie criteria afgeleid die sturend werken ten aanzien van ruimtelijke keuzen voor die functie. De criteria per functie zijn verschillend. Uit de matrices kan nagegaan worden welke criteria van toepassing zijn bij een bepaalde casus (Kwadijk en Ypma, 2002).

Op basis van geschiktheden en benuttingmogelijkheden zoals aanwezig in het fysiek systeem, zijn ondergrondse en bovengrondse functies beoordeeld. Bij deze beoordelingen is het schaalniveau van benadering van belang. Ook hier bieden de matrices een handvat voor de mogelijkheden die afgewogen kunnen worden.

In eerste instantie leidt de transformatieopgave in hoofdlijnen tot een vanuit ruimtelijk perspectief gewenste rangschikking van functies. Door de ruimtelijk differentiërende thema's vanuit bodem, ondergrond en (grond)water (matrix Fo\*P, hoofdstuk 4) naast elkaar te leggen ontstaat een beeld van ontwikkelingskansen.

Centraal in de toegepaste methode staan streefbeelden voor duurzaamheid van de onderscheiden thema's. Van die streefbeelden zijn vervolgens criteria voor locatiekeuze en (aanvullende) inrichtingsmaatregelen afgeleid. Toepassing daarvan leidt er toe dat ongewenste effecten op bodem en grondwater zoveel mogelijk worden voorkomen (Kwadijk en Ypma, 2002).

## 7.3 Rotterdam CS

### 7.3.1 Beschrijving schaduwplan

De casus Rotterdam centraal in BAGEO fase 2 heeft duidelijk gemaakt dat de ondergrond tot op heden slechts in beperkte mate een rol heeft gespeeld in het planvormingsproces. De algemene voorkeur gaat meer in de richting van de hoogbouw dan naar ondergronds bouwen. Dat heeft volgens de betrokken partijen te maken met de bouwcultuur in Rotterdam, de relatief hoge kosten van het ondergronds bouwen (die vooralsnog niet lijken op te wegen tegen de toch hoge grondprijzen), de beperkte flexibiliteit van ondergrondse ruimtes en de behoefte aan daglichttoetreding en buitenlucht. Desondanks vinden alle partijen dat de ondergrond potenties heeft voor toekomstig functioneel gebruik (basisprojectplan BAGEO fase3).

In de Richtlijnen voor het MER (milieu effect rapportage) Rotterdam Centraal wordt expliciet aandacht gevraagd voor de ondergrond. In het Masterplan Rotterdam Centraal wordt de ondergrond onder meer benut voor een passage, tramverbindingen en parkeergarages. Vanuit het BAGEO project (fase 2) is aanbevolen om te onderzoeken of ook andere functies nog ondergronds kunnen, zoals ondergrondse bedrijfsruimtes in combinatie met gestapelde bouw, winkels op verlaagd maaiveldniveau, bepaalde vormen van urban entertainment en de opslag van water en energie in de bodem. Een en ander moet resulteren in een schaduwplan voor Rotterdam Centraal, inclusief aanbevelingen voor de wijze waarop met dergelijk onderzoek kan worden aangehaakt bij een planvormingsproces c.q. MER-procedure.

### 7.3.2 Aansluiting aan matrices

De uitgebreide beantwoording van de vragen die gesteld zijn voor de aansluiting op de matrices zijn opgenomen in bijlage 5.

De eerste matrix met functies x parameters (Fo\*P, hoofdstuk 4) is zeer bruikbaar als checklist:

- een check op kansrijke functies
- een check op mogelijke effecten/risico's

Het blijkt dat we in het schaduwplan Rotterdam Centraal de meest kansrijke functies en relevante parameters hebben onderzocht. Wat betreft de functies is alleen de ecosysteemfunctie niet of nauwelijks onderzocht, met name vanwege de beperkte ecologische waarden in het plangebied. Dat kan desondanks een omissie zijn. Het zou de moeite waard zijn om in het kader van het MER een ecotypenkaart op te stellen, die de mogelijke ecologische potenties in het plangebied inzichtelijk maakt. De leverancierfunctie van de bodem lijkt in dit hoogdynamisch stedelijk gebied ook beperkt, alleen de optie aardwarmte is onderzocht.

Wat betreft de effecten is in dit onderzoek geen aandacht besteed aan trillingsgevoeligheid en corrosiviteit. Dat zijn zaken die in de ontwerpfase/stedenbouwkundevisie van minder belang zijn, maar later in het planproces nog aan de orde zullen komen.

De tweede matrix (Fo\*Fo) met mogelijke combinaties van functies lijkt de meeste conclusies ten aanzien van de meest relevante afwegingscriteria te onderbouwen: veel functies hebben een verschillend dieptebereik en kunnen dus goed samengaan, de verspreidingsrisico's van verontreinigingen via het grondwater, werk met werk maken bij verontreinigingen, mogelijke aantasting bodemarchief bij ondergronds bouwen. De effecten op grondwater (stroming, peilfluctuaties, samenstelling), bodemdaling en aardbevingsrisico's zijn niet in detail onderzocht en vormen mogelijke aandachtspunten voor het verdere planvormingsproces cq het MER (Gemeentewerken Rotterdam Ingenieursbureau, 2002).



## 8. Conclusies en aanbevelingen

Het hoofddoel van deze deelactiviteit was het opstellen van een generieke procedure om de geschiktheid van de ondergrond voor een bepaalde functie of combinatie van functies vast te stellen.

Er zijn matrices ontwikkeld die gebruikt kunnen worden bij inrichtingsvraagstukken. Zo geven de matrices aan welke (kaart)data benodigd is en verschillende mogelijkheden van het gebruik van de ondergrond, in combinatie met de bovengrondse functies komen aan het licht.

De matrices zijn opgesteld om de kansen voor een duurzaam gebruik van de ondergrond zo vroeg mogelijk in het planningsproces mee te nemen. Meestal is er al een beeld van de te realiseren inrichting. In de meeste gevallen zullen de bovengrondse functies als eerste bekeken worden door de planners. Met behulp van de matrix  $F_o * F_b$  kan gekeken worden welke ondergrondse functies hier goed bij passen en in  $F_o * F_o$  welke ondergrondse functies goed gecombineerd kunnen worden. De matrices zijn generiek van opzet en moeten dan ook niet worden gezien als een volledig overzicht van ondergrondse functies voor een specifieke situatie. De matrices zijn bedoeld om de doelgroep (initiatiefnemers, toetsers, planners en bijvoorbeeld beleidsmakers) een indruk te geven van de mogelijkheden die de ondergrond biedt en met welke aspecten er rekening moet worden gehouden.

### *Kaarten*

De bijbehorende functiematrices kunnen op meerdere schaalniveaus worden gebruikt:

- Op *inrichtingsniveau* ligt het programma van eisen vaak vast: de exacte geografische ligging van de gewenste functies kan nader worden bepaald met behulp van bodemgeschiktheidskaarten. Wanneer er ‘harde’ eisen worden gesteld aan de locatie van functies, is een kaart overbodig. In het geval van ongeschiktheid van de ondergrond voor de functie op de vereiste locatie, is het aanpassen van de (on)geschiktheid het enige alternatief.
- Op *locatieniveau* zijn de kansen van de ondergrond sturend: de geografische ligging van de functies staat nog niet vast en bovendien is er ruimte voor - nog onbelichte - alternatieven. Bodemgeschiktheidskaarten kunnen, evenals op locatieniveau, helpen bij het kiezen van de (geotechnisch) meest geschikte gebieden, terwijl de functiematrices van pas kunnen komen bij het kiezen van alternatieven.

Op basis van gegevens uit verschillende bronnen kunnen vele typen kaarten gemaakt worden die planners ondersteunen bij de inrichting van een gebied. De zogenaamde basiskaarten leveren hierbij een eerste indruk van de potenties en beperkingen die de ondergrond biedt voor een bepaalde functie. Basiskaarten worden tevens vaak gebruikt als basismateriaal voor thematische kaarten. Thematische kaarten kunnen bodemgeschiktheidskaarten zijn, die direct weergeven of de bodem geschikt is voor een bepaalde functie (zoals de gietwaterkaarten, koude/warmte

opslagkaarten, oppervlakedelfstoffenkaarten, geothermisch potentieel kaarten en aardkundige waarden kaarten). Thematische kaarten kunnen ook kaarten zijn waarmee de effecten van een ingreep in de ondergrond en de benodigde maatregelen om de effecten terug te brengen tot een acceptabel niveau, kunnen worden ingeschat (zettingsgevoeligheidskaarten, trillingsgevoeligheidskaarten, etc).

De meeste typen kaarten kunnen (projectsgewijs) gemaakt worden. Enkele basiskaarten zijn reeds als landelijke overzichten gepubliceerd. Voor een aantal typen kaarten moet de methodiek nog verder worden uitgewerkt (aangegeven met \*).

Tabel 8.1 Overzicht van basis- en thematische kaarten

Basiskaarten	Thematische kaarten
Klei-veendikte	Zettingsgevoeligheid
Top Pleistoceen	Funderingsdiepte
Landschapsgenese	Trillingsgevoeligheid*
Oppervlakgeologie	Ondergronds bouwen
Diepe geologie en tektonische setting	Oppervlakedelfstoffen
Grondwater	Gas- en oliereervoirs
Bodentype	Aardkundige waarden*
Geomorfologie	Archeologisch waardevolle gebieden
	Geothermisch potentieel
	Warmte/koude opslag
	(Giet)water opslag
	Bodemkwaliteit
	Gevoeligheid
	Kwetsbaarheid*
	Grondwaterkwaliteit
	Erosiegevoeligheid*
	Corrosiviteit*
	Bodempotentie

### Matrices

Het hier gepresenteerde deelproject van BAGEO geeft in matrixvorm een overzicht van de in Nederland mogelijke ondergrondse functies (Fo) en de basiseigenschappen (P; parameters) van de ondergrond die de geschiktheid voor deze functies bepalen. Ook belicht worden de kansen en bedreigingen die ontstaan wanneer 1: ondergrondse functies worden gecombineerd (matrix Fo\* Fo) en 2: ondergrondse functies worden gecombineerd met bovengrondse functies (matrix Fo \* Fb).

- De matrix Fo \* P kan planners helpen vast te stellen welke kaarten er voor welke functies nodig zijn en welke parameters van toepassing zijn.
- De matrix Fo \* Fo kan het plannen van het gebruik van de ondergrond ondersteunen. Deze matrix maakt inzichtelijk welke functies ondergronds goed combineren. Ook maakt de matrix helder of toekomstige functies worden uitgesloten wanneer in de huidige situatie voor een bepaalde functie wordt gekozen.

- De matrix  $F_b * F_o$  stimuleert het denken over ondergronds ruimtegebruik door inzichtelijk te maken welke bovengrondse functies goed combineren met specifieke ondergrondse functies.

#### *F<sub>o</sub>\*F<sub>o</sub>*

De matrix  $F_o * F_o$  geeft de combinatie van ondergrondse functies weer. Bij het invullen van de matrix konden enkele gevolgtrekkingen gemaakt worden:

- Ondergrondse functies stellen eisen aan de opbouw en eigenschappen van de ondergrond. In een aantal gevallen leent de ondergrond zich uitdrukkelijk niet voor een bepaalde functie. Zo kan de functie oppervlakedelfstoffenwinning alleen gepland worden als er in de ondergrond ook werkelijk delfstoffen op een winbare diepte worden aangetroffen.
- Het gebruik van de ondergrondse ruimte voor een functie heeft gevolgen voor de functionaliteit van de ondergrond en effecten op de omgeving. Een voorbeeld hiervan is het ondergronds bouwen. Tijdens de constructiefase wordt grond verzet en verwijderd, waardoor de structuur en daarmee de ecosysteemfunctie van de bodem verandert. Daarnaast vindt dikwijls onttrekking van grondwater plaats, met mogelijke uitstralingseffecten op de omgeving. Obstakels in de ondergrond kunnen ook na de constructiefase het grondwatersysteem beïnvloeden.
- Er zijn functies die niet samengaan omdat zij elkaar beconcurreren om ondergrondse ruimte, tegenstrijdige eisen aan de ondergrond stellen of elkaars (negatieve) effecten op het ondergrondsysteem en de omgeving versterken. Een voorbeeld van functies die elkaar beconcurreren om ondergrondse ruimte zijn de functies koude/warmte opslag en gietwateropslag.
- Een groot aantal functies gaat redelijk goed samen omdat zij zich op een ander diepteniveau afspelen. Een duidelijk voorbeeld hiervan is de winning van ondiepe oppervlakedelfstoffen en de winning van diepere delfstoffen als olie, gas en aardwarmte.
- Enkele functies gaan juist goed samen en versterken elkaar. Zo kunnen uitgeproduceerde aardgasvelden gebruikt worden voor de opslag van (CO<sub>2</sub>)gas.

Algemeen kan gesteld worden dat functies waarbij grond wordt ontgraven en verwijderd, zoals de ruimtefuncties voor ondergronds bouwen en de leverancierfuncties voor ondiepe delfstoffen, slecht combineren met de reservoirfuncties voor bodemarchief en aardkundige waarden en de ecosysteemfuncties. De reservoirfunctie voor bodemarchief en aardkundige waarden combineert juist goed met de ecosysteemfuncties van de bodem. Ook voor de ruimtefunctie voor ondergronds bouwen ontstaat een ‘win-win’ situatie, wanneer deze functie gecombineerd wordt met de aanpak van ernstige verontreinigingen. Wel dient natuurlijk rekening gehouden te worden met hogere ontgravings- en verwerkingskosten voor de ontgraven grond. Over de gevolgen van de ondergrondse opslag van radioactief afval voor andere ondergrondse functies is weinig bekend.

### *Fo\*Fb*

De matrix  $F_o*F_b$  geeft de combinatie van ondergrondse met bovengrondse functies weer.

Uit matrix  $F_o*F_b$  blijken dezelfde gevolgtrekkingen als bij matrix  $F_o*F_o$  geldig. Ook is qua combinaties dezelfde trend als bij de gecombineerde ondergrondse functies te herkennen. Ondergrondse functies ‘leverancier’ en ‘reservoir’ zijn vaak moeilijk te combineren met bovengrondse functies. Ook de bovengrondse functies ‘water’ en ‘natuur/duingebied’ stellen eisen aan ondergrondse functies en zijn daarom moeilijker te combineren zoals uit matrix  $F_o*F_b$  blijkt in bijlage 3.

### *Schaduwplannen*

Vanuit de schaduwplannen komen de volgende zaken naar voren:

- Het nut van het gebruik van de matrices als kwam bij beide schaduwplannen naar voren.
- Het gebruik van de matrices zorgde niet zozeer voor geheel nieuwe inrichtingsplannen, als wel tot een verdieping van de kennis over de mogelijkheden en variaties op de bestaande plannen.
- De matrices geven een beter inzicht in het plannen van zowel ondergrondse als bovengrondse en de combinatie van functies binnen de randvoorwaarden die de bodemparameters aan de bodem stellen.
- Zowel kosten als haalbaarheid komen weinig tot niet aan bod in het onderzoeken van mogelijkheden voor een duurzaam gebruik voor de ondergrond mbv de matrices, terwijl deze aspecten vrijwel altijd doorslaggevend zijn.
- De informatiebehoefte en -beschikbaarheid is sterk afhankelijk van de schaal van een project. Hierbij moet rekening gehouden worden bij het gebruik van de matrices. De matrices zijn generiek, in elke nieuwe situatie zal dus opnieuw de soort en het detail van informatie moeten worden bepaald.



De laatste jaren neemt in Nederland de bovengrondse druk op de ruimte toe; niet alleen in de randstad, waar de bovengrondse ruimte schaars is, maar ook in de overige delen van Nederland. De ondergrond biedt perspectieven in deze situaties. Maar ook de druk op de ondergrond neemt hierdoor toe. De behoefte aan een overzicht van boven- en ondergrondse functiecombinaties neemt hierdoor toe. De ervaring leert dat ondergronds bouwen al regelmatig wordt toegepast maar ook andere ondergrondse functies kunnen een goede uitkomst leveren. Het komen tot een hoogwaardige benutting van de ondergrond waarbij sprake is van een maatschappelijk aanvaard en duurzaam gebruik en beheer van deze ondergrond is een gezamenlijke verantwoordelijkheid. Het is echter nodig daar een impuls aan te geven. Een impuls die uitgaande van een breed maatschappelijk belang steeds meer de verantwoordelijkheid laat delen door publieke en private actoren, waarvoor de bodem een functie vervult (Website ECON)

Het BAGEO project past binnen de ECON- en EU-initiatieven voor een zorgvuldiger gebruik van de bodem/ondergrond en ontsluiting van kennis voor de kansen voor een duurzaam gebruik van de ondergrond.



## 9. Literatuur

**SV-046, Basisprojectplan** (2001), voor het uitvoeren van uitvoeren van fase 3: afronden ontwikkeling. Breed Afwegingskader Gebruik Ondergrond. Ingenieursbureau Rotterdam, Provincie Zuid Holland, Royal Haskoning, Groene Hart, TNO.

**SV-046, Eindrapport BAGEO fase 2** (2001) Eindrapport voor Fase 2 ‘verkenningen’ van Breed Afwegingskader Gebruik Ondergrond, Milieubeleid Rotterdam, Ingenieursbureau Rotterdam, Provincie Zuid Holland, Royal Haskoning, Groene Hart, TNO, HBG ism SKB

**Carton L, Plekkenpol W, Vermande H, Thissen W** (2001) Bouwen met of zonder meervoudig ruimtegebruik: Is er behoefte aan modellen/systemen in het besluitvormingsproces? Een behoeftescan met behulp van de Group Decision Room. Eindrapport van het project ‘Verkenning behoefte, eisen en wensen integrale afwegingsmodellen en beslissingsondersteunende systemen ondergronds en meervoudig ruimtegebruik (J620) van het Centrum Ondergronds Bouwen (COB)

**Kwadijk F, Ypma K** (2002) Grond voor transformatie. Rapportnr 99030857, Grontmij Zuid-Holland, Waddinxveen

**Peeters J, Kwadijk F** (2001) Grond voor glas. Rapportnr 99025590. Grontmij Zuid-Holland, Waddinxveen

**Plant RAJ** (2000) Inventarisatie Methodes en Technieken Integraal Afwegen. Rapportnr R2000/456, TNO-MEP, Apeldoorn

**Gemeentewerken Rotterdam Ingenieursbureau** (2002) BAGEO ROTTERDAM CENTRAAL, alternatieven voor een duurzaam gebruik van de ondergrond. Gemeentewerken Rotterdam ingenieursbureau, Rotterdam

### *Kaarten*

**[kaart a]** TNO-NITG (9999) Proefkaart bodemkansenkaart ondergronds bouwen Zuid-Holland. rapportnr 01-148-B, TNO-NITG, Utrecht

**[kaart b]** Weerts HJT (2000) Regionale bodemkansenkaart Zuid-Holland. Geschiktheid van de bodem voor laag calorische opslag van koude/warmte in Zuid-Holland. Rapportnr 00-135-B, TNO-NITG, Utrecht

**[kaart c]** Weerts HJT, Klaver GT (2001) Regionale bodemkansenkaart Zuid-Holland. Geschiktheid van de bodem voor opslag van gietwater. Rapportnr 01-082-B, TNO-NITG, Utrecht

**[kaart d]** Weerts HJT, Klijnstra B, Van Gessel SF (2000) Regionale bodemkan-senkaart Zuid-Holland. Inventarisatie voorkomen van beton- en metselzand in Zuid-Holland. Rapportnr 00-265-B, TNO-NITG, Utrecht

**[kaart 0]** Weerts HJT, Witte LJ (2000) Klei- en veenkaart van de provincie Zuid-Holland. Verbreiding van klei en veen dikker dan 5 meter binnen 8 meter onder maaiveld. Rapportnr 00-53-B, TNO-NITG, Utrecht

**[kaart 1]** Overzichtskaart bovenkant van de Pleistocene afzettingen in Nederland en het Nederlands deel van het Continentaal Plat, 1:1.000.000 en Overzichtskaart van de bovenkant van de pleistocene afzettingen in Nederland 1:500.000 – zowel geplot als digitaal beschikbaar bij TNO-NITG

**[kaart 2]** Kaartenserie Geologische Kaart van Nederland. Ondiepe Ondergrond. Schaal 1:50.000, beschikbaar bij TNO-NITG).

**[kaart 3]** Kaartenserie: Atlas van de diepe ondergrond van Nederland. Schaal 1:250.000, beschikbaar bij TNO-NITG).

**[kaart 4]** Bodemkaart van Nederland. Schaal 1 : 50 000. Uitgegeven door Alterra (ook digitaal beschikbaar).

**[kaart 5]** Geomorfologische kaart . Schaal 1:50.000. Uitgegeven door Alterra.

**[kaart 6]** 2e Structuurschema oppervlaktedelfstoffen: landelijk beleid voor de bouwgrondstoffenvoorziening: ontwerp planologische kernbeslissing deel 1 - be-leidsvoornemen. Ministerie V&W, 2001.

**[kaart 7]** De kaart is beschikbaar op de TNO-NITG website  
<http://www.nitg.tno.nl/oil&gas/arch.shtml>.

**[kaart 8]** Indicatieve Kaart van Archeologische Waarden. Uitgegeven door de Rijksdienst voor Oudheidkundig Bodemonderzoek.

**[kaart 9]** Atlas of Geothermal Resources in the European Community, the Nether-lands. TNO rapport NITG 97-24-A, May 1997.

**[kaart 10]** TNO-NITG (2000) Laag calorische opslag van koude/warmte in Zuid-Holland, toepassing proefkaarten NITG/TNO. IF Technology

*Websites*

**Website TNO-NITG (1):**

<http://dinoloket.nitg.tno.nl/dinolks/SilverStream/Pages/LksWatIsDino.html>

**Website TNO-NITG (2):**

[http://spider.nitg.tno.nl/ned/projects\\_new/pdf\\_s/5\\_02nl.pdf](http://spider.nitg.tno.nl/ned/projects_new/pdf_s/5_02nl.pdf)

**Website Delft Cluster:** [http://www.delftcluster.nl/index\\_en.html](http://www.delftcluster.nl/index_en.html)

**Website ECON:** <http://home.planet.nl/~geoli000/ECON.pdf>



## 10. Verantwoording

Naam en adres van de opdrachtgever:

SKB/Projectgroep BAGEO

Namen en functies van de projectmedewerkers:

L. Maring, R.A.J. Plant, A.J.C. Sinke

B.B.T. Wassing, H.J.T. Weerts, M. van Vliet

M.H. Kriekaard, J. Herbschleb

L.J.J. v.d. Wal

R. Fisser

TNO-MEP

TNO-NITG

Royal Haskoning

Gemeente Rotterdam

Provincie Zuid-Holland

Datum waarop, of tijdsbestek waarin, het onderzoek heeft plaatsgehad:

2002

Ondertekening:

Goedgekeurd door:

Ir. L. Maring  
projectleider

Dr. M.P. Keuken  
afdelingshoofd





## Bijlage 1    Eigenschappen van de ondergrond (P), onder- en bovengrondse functies (Fo, Fb)

P	Fo	Fb
Erosiegevoeligheid	<b>Leverancier</b>	<b>Wonen</b>
Kwetsbaarheid		Stadscentrum
Grondwaterkwaliteit		Stadswijk
Bodemeschiktheid		Tuinstad/villawijk
Bodemgevoeligheid	Diep	Dorpsgebied
Bodemkwaliteit		Uitbreidinggebied
Gietwater opslag		Urban entertainment
Koude/warmteopslag		<b>Infra</b>
Diepte tertiaire kleien		Snelwegen
Geothermisch potentieel	<b>Reservoir</b>	Stadswegen
Archeologisch waardevolle gebieden		Fietspaden/voetpaden
Gas/oliereserves		Parkeergelegenheid
Oppervl. delfstoffen		Trein/spoor
Ondergronds bouwen	Diep	Stationgebied
Trillingsgevoeligheid		Tram/metro
Funderingdiepte		Rondwegen
Zettingsgevoeligheid		Vliegveld
Geomorfologie/reliëf	<b>Ruimte</b>	<b>Werkgebieden</b>
Bodemtype		Business/sciencepark
Kwel/infiltratie	Diep	Handel,dienstverlening
Diepte g.w.stand /polderpeil		Transport & distributie
Deklaagweerstand		Industrie/havengebied
Watervoerende pakketten / scheidende lagen stijghoogten	<b>Eco-systeem</b>	Milieu hinderlijke bedrijven
Zoet/zout grensvlak		Opslag terreinen
Diepe geologie en tektonische setting		Glastuinbouw
Oppervlakte geologie		<b>Stads randzones</b>
Landschapsgenese		Landgoederen
Top pleistoceen		Stadsparken
Klei-veendiktekaart		Recreatie,sportterreinen
		Volkstuinen
		<b>Agrarisch</b>
		Grasland
		Boomteelt
		Fruitteelt
		Bollenteelt
		Akkerbouw
		Intensieve veehouderij
		Semi-agrarisch
		<b>Water</b>
		Open water/plassengebied
		Waterverbindingen
		Waterberging
		<b>Natuur/duingebied</b>
		Reservaat/beheersgebied
		Ecologische verbindingzones
		Stiltegebied





1. (Drink)waterwinning en kleiwinning vinden plaats in verschillende formaties. Kleiwinning en (drink)waterwinning gaan in principe samen, bemaligen die eventueel worden toegepast bij de winning van klei onder het grondwaterniveau kunnen wel tijdelijke veranderingen in stijghoogten in watervoerend pakket veroorzaken, met als mogelijke gevolgen beïnvloeding van de waterwinning en extra bodemdaling. De ondiepe kleiwinning kan ook leiden tot veranderingen in de weerstand van de deklaag.
2. (Drink)waterwinning en zandwinning kunnen plaatsvinden binnen een verschillend dieptebereik. Bij diepere winning van zand (bv uit formaties van het eerste watervoerende pakket) kan beïnvloeding van de stijghoogten in het watervoerend pakket plaatsvinden (onder meer door verwijdering van de deklaag of door bijvoorbeeld het verwijderen van sliedlagen in rivierbeddingen bij baggerwerkzaamheden).
3. (Drink)waterwinning en grindwinning kunnen plaatsvinden binnen een verschillend dieptebereik. Bij diepere winning van grind (bv uit formaties van het eerste watervoerende pakket) kan beïnvloeding van de stijghoogten in het watervoerend pakket plaatsvinden (onder meer door verwijdering van de deklaag of door bijvoorbeeld het verwijderen van sliedlagen in rivierbeddingen bij baggerwerkzaamheden).
4. (Drink)waterwinning en aardgaswinning kennen een verschillend dieptebereik, bij aardgaswinning bestaat een risico op verontreiniging van de bovenliggende watervoerende pakketten.
5. (Drink)waterwinning en oliewinning kennen een verschillend dieptebereik, bij oliewinning bestaat een risico op verontreiniging van de bovenliggende watervoerende pakketten.
6. (Drink)waterwinning en zoutwinning vinden plaats in verschillende formaties, bij zoutwinning bestaat een risico op verontreiniging van de bovenliggende watervoerende pakketten.
7. Reguliere (drink)waterwinning en aardwarmtewinning vinden plaats in verschillende formaties (aardwarmte wordt gewonnen uit dieper gelegen formaties), diep water wordt gewonnen voor thermale baden (zoutwater) of energievoorziening. Bij aardwarmtewinning voor energie (grotere produkties) dient water geherinjecteerd te worden ter voorkoming van bodemdaling.
8. (Drink)waterwinningen gaan in principe (wanneer geen water wordt geherinjecteerd) gepaard met grondwaterstandsverlagingen. Het ‘bodemarchief’ (de archeologische inhoud) is zeer gevoelig voor veranderingen (verlagingen) in de grondwaterstand en veranderingen in de redox-toestand van de bodem. Beide functies gaan niet goed samen indien er geen maatregelen worden genomen om de grondwaterstandsverlagingen te beperken).
9. De functies (drink)waterwinning en de reservoirfunctie voor aardkundige waarden gaan in principe goed samen. Uitzondering hierop vormen natuurlijk die situaties waarin het geohydrologisch systeem zelf als een aardkundige waarde wordt beschouwd, of wanneer de aardkundige waarde wordt gevormd door ‘het bodemarchief’ dat zeer gevoelig is voor grondwaterstandsverlagingen.

10. De functies (drink)waterwinning en de opslag van verontreinigingen gaan niet samen, met name mobiele verontreinigingen vormen een bedreiging voor de (drink)watervoorraad.
11. (Drink)waterwinning en (giet)water opslag uit hetzelfde watervoerende pakket gaan niet samen – hier vindt concurrentie om ruimte plaats.
12. CO<sub>2</sub> opslag vindt op grotere diepte plaats (vanaf ca. 800m diepte) dan (drink)waterwinning. CO<sub>2</sub> kan bij ontsnapping wel (drink)watervoorraden bedreigen (door verstoring van stromingssystemen, migratie organische verbindingen uit opslagreservoirs en verstoring van de chemische en microbiologische evenwichten in het grondwater).
13. (Drink)waterwinning en koude/warmte opslag uit hetzelfde watervoerende pakket gaan niet samen – hier is sprake van concurrentie om ruimte.
14. Bij de ondergrondse opslag van (radio)actief bestaat er een risico op verontreiniging van het grondwater. Deze functies gaan vermoedelijk vanuit veiligheidsoverwegingen slecht samen.
15. De functies ondiepe ondergrondse verblijfsruimten en (drink)waterwinning hebben een verschillend dieptebereik, de (drink)waterwinning vindt in principe dieper plaats. Bij een spanningsbemaling in het eerste watervoerend pakket kan wel een tijdelijke verstoring van de winning plaatsvinden. Vermindering van infiltratie en veranderingen in waterhuishouding kunnen optreden wanneer de ondergrondse constructies grote oppervlakten in beslag nemen en bijvoorbeeld gepaard gaan met verhardingen aan het oppervlak. (Drink)waterwinning gaat gepaard met wijzigingen in stijghoogten en grondwaterstanden; deze kunnen in een aantal gevallen klink en schade aan de constructies veroorzaken.
16. De functies (drink)waterwinning en ondiepe lineaire structuren hebben een verschillend dieptebereik; de (drink)waterwinning vindt in principe dieper plaats; bij een spanningsbemaling in het eerste watervoerend pakket kan wel een tijdelijke verstoring van de winning plaatsvinden. (drink)waterwinning gaat gepaard met wijzigingen in stijghoogten en grondwaterstanden; deze kunnen in een aantal klink en schade aan de structuren veroorzaken.
17. Grotere diepe bouwputten voor de constructie van verblijfsruimten tot in het watervoerend pakket kunnen de grondwaterstroming verstoren en de hydraulische weerstand van de deklaag veranderen: de spanningsbemaling ten tijde van de constructie van de bouwput leidt tot tijdelijke verstoring van de winning. Vermindering van infiltratie en veranderingen in waterhuishouding kunnen optreden wanneer de ondergrondse constructies grote oppervlakten in beslag nemen en bijvoorbeeld gepaard gaan met verhardingen aan het oppervlak. (Drink)waterwinning gaat gepaard met wijzigingen in stijghoogten en grondwaterstanden; deze kunnen in een aantal gevallen klink en schade aan de constructies veroorzaken.

18. Ondergrondse lineaire structuren en bouwwerken tot in het watervoerend pakket kunnen grondwaterstromingen verhinderen (barrièrewerking), de hydraulische weerstand van de deklaag veranderen bij constructies vanaf het maaiveld; spanningsbemalingen ten tijde van de constructie van de bouwput kunnen leiden tot een tijdelijke verstoring van de (drink)waterwinning. (Drink)waterwinning gaat gepaard met wijzigingen in stijghoogten en grondwaterstanden; deze kunnen in een aantal gevallen klink en schade aan de constructies veroorzaken.
19. De functies (drink)waterwinning en de ecosysteemfunctie regulering gaan goed samen mits er geen significante grondwaterstandsverlaging en veranderingen in grondwaterstromingen plaatsvinden. Door veranderingen in de waterhuishouding en zuurstofhuishouding kunnen fysische, chemische en microbiologische evenwichten veranderen. Dit leidt tot veranderingen in het bodemecosysteem en de samenhangende regulerende functies.
20. De functies (drink)waterwinning en de ecosysteemfunctie uitwisseling gaan goed samen mits er geen significante grondwaterstandsverlagingen en veranderingen in grondwaterstromingen plaatsvinden. Wijzigingen in de waterhuishouding kunnen leiden tot verstoring van de uitwisselingsfunctie van de bodem.
21. De functies (drink)waterwinning en de ecosysteemfunctie zuivering gaan in principe goed samen mits er geen significante grondwaterstandsverlagingen en veranderingen in grondwaterstromingen plaatsvinden. Wijzigingen in de waterhuishouding en zuurstofhuishouding leiden tot veranderingen in het bodemecosysteem en de samenhangende zuiveringsfunctie.
22. De functies klei- en zandwinning gaan niet goed samen binnen hetzelfde dieptebereik. Wel is de ondiepe winning van klei met diepere winning zand en vv mogelijk (als voorbeeld wordt hier genoemd de gelijktijdige winning van zilverzand en Tegelen-klei en de winning van zand en klei voor keramische industrie uit rivierbeddingen).
23. De functies klei- en grindwinning gaan niet goed samen binnen hetzelfde dieptebereik. Wel is de ondiepe winning van klei met de diepere winning van grind en vv mogelijk (klei voor keramische industrie en grind uit rivierbeddingen).
24. Aardgaswinning en kleiwinning vinden plaats op verschillende dieptes; de functies storen elkaar niet.
25. Oliewinning en kleiwinning vinden plaats op verschillende dieptes; de functies storen elkaar niet.
26. Zoutwinning en kleiwinning vinden plaats op verschillende dieptes (zoutwinning ca. 300-3000m) ; de functies storen elkaar niet.
27. Aardwarmtewinning en kleiwinning vinden plaats op verschillende dieptes; de functies storen elkaar niet.
28. De winning van klei leidt tot vernietiging en verstoring van het ondiepe bodemarchief; de functies kleiwinning en de reservoirfunctie bodemarchief gaan niet goed samen.

29. De functie kleiwinning en de reservoirfunctie voor aardkundige waarden gaan niet goed samen, bij winning wordt de grond definitief verwijderd.
30. De functies kleiwinning en de opslag van verontreinigingen gaan in principe samen. In de ruimte na winning van de klei kan verontreinigde grond worden opgeslagen. Indien gewonnen klei verontreinigd is kent deze wel beperkte hergebruikmogelijkheden (gebruiksmogelijkheden vergroot door immobilisatie).
31. Kleiwinning en (giet)water opslag vindt plaats in verschillende formaties op verschillende dieptes. Ondiepe kleiwinning en diepere (giet)water opslag gaan in principe samen. Tijdelijke bemalingen toegepast bij de winning van diepere kleilagen kunnen wel de (giet)water opslag negatief beïnvloeden.
32. Kleiwinning en gasopslag kennen een verschillend dieptebereik. De functies storen elkaar niet.
33. Kleiwinning en warmte-koude opslag vindt plaats in verschillende formaties op verschillende dieptes. Ondiepe kleiwinning en diepere koude/warmte opslag gaan samen. Tijdelijke bemalingen toegepast bij de winning van diepere kleilagen kunnen wel de koude/warmte opslag negatief beïnvloeden.
34. De functies kleiwinning en de diepere opslag van (radio)actief verontreinigd materiaal gaan in principe samen. Er is echter niets bekend over bijvoorbeeld mogelijke veiligheidszone rond opslaglocaties van (radio)actief verontreinigd materiaal.
35. De aanwezigheid van (slappe) kleilagen is in principe ongunstig voor de ondersteuning van damwandconstructies voor ondiepe bouwputten. Kleien die vrijkomen bij de ontgravingswerkzaamheden voor grotere bouwputten zijn mogelijk winbaar; dit is sterk afhankelijk van het type klei. Het is verder in principe gunstig als de bouwput aan de onderzijde wordt afgesloten door een kleilaag (vermindering wateroverlast) - deze laag kan echter niet gewonnen worden.
36. De aanwezigheid van (slappe) kleilagen is in principe ongunstig voor de ondersteuning van damwandconstructies voor ondiepe bouwputten. Kleien die vrijkomen bij de ontgravingswerkzaamheden voor grotere bouwputten zijn mogelijk winbaar; dit is sterk afhankelijk van het type klei. Het is verder in principe gunstig als de bouwput aan de onderzijde wordt afgesloten door een kleilaag (vermindering wateroverlast) - deze laag kan echter niet gewonnen worden.
37. De aanwezigheid van (slappe) kleilagen is in principe ongunstig voor de ondersteuning van damwandconstructies voor ondiepe bouwputten. Kleien die vrijkomen bij de ontgravingswerkzaamheden voor grotere bouwputten zijn mogelijk winbaar; dit is sterk afhankelijk van het type klei. Het is verder in principe gunstig als de bouwput aan de onderzijde wordt afgesloten door een kleilaag (vermindering wateroverlast) - deze laag kan echter niet gewonnen worden.

38. Klei die vrijkomt bij boorwerkzaamheden (bij scheiding van boorspoeling) kan in principe (afhankelijk van het type klei) hergebruikt worden. Graafwerkzaamheden boven en in de directe omgeving van tunnels zijn vaak niet toegestaan – winningsmogelijkheden boven tunnels zijn dus beperkt. Klei die vrijkomt bij werkzaamheden in een open bouwput is mogelijk, afhankelijk van het type klei, geschikt voor winning.
39. De functie kleiwinning en de ecosysteemfunctie regulering gaan niet goed samen, bij winning wordt de grond definitief verwijderd.
40. De functie kleiwinning en de ecosysteemfunctie uitwisseling gaan niet goed samen, bij winning wordt de grond definitief verwijderd.
41. De functie kleiwinning en de ecosysteemfunctie zuivering gaan niet goed samen, bij winning wordt de grond definitief verwijderd.
42. De functies zand- en grindwinning gaan in principe samen wanneer in hetzelfde dieptebereik zowel zandige als grindhoudende lagen voorkomen; de secundaire winning van grind als bijproduct van zand (en v.v.) is mogelijk.
43. Aardgaswinning en zandwinning vinden plaats op verschillende dieptes; de functies storen elkaar niet.
44. Oliewinning en zandwinning vinden plaats op verschillende dieptes; de functies storen elkaar niet.
45. Zoutwinning en zandwinning vinden plaats op verschillende dieptes (zoutwinning ca. 300-3000m); de functies storen elkaar niet.
46. Aardwarmtewinning en zandwinning vinden plaats op verschillende dieptes; de functies storen elkaar niet.
47. Winning van zand leidt tot vernietiging en verstoring van het ondiepe bodemarchief.
48. De functie zandwinning en de reservoirfunctie voor aardkundige waarden gaan niet goed samen, bij winning wordt de grond definitief verwijderd.
49. In bepaalde specifieke gevallen kan in de ruimte ontstaan in de ondergrond na de winning van het zand opslag van verontreinigd materiaal plaatsvinden; de afsluitende werking van kleilagen ontbreekt echter (een voorbeeld: de berging van verontreinigde klei langs de Maas in zand en grind afgravingen – het zgn. ‘omputten’). Door immobilisatie van verontreinigingen worden de gebruiksmogelijkheden van verontreinigde materialen als bouwstof verhoogd.
50. (Giet)water opslag en zandwinning kunnen plaatsvinden op een verschillend dieptebereik. Bij diepere winning van zand (bv uit formaties die onderdeel uitmaken van het eerste watervoerende pakket) kan beïnvloeding van de stijghoogten in het watervoerend pakket plaatsvinden (onder meer door verwijdering van de deklaag of bijvoorbeeld het verwijderen van een sliblaag bij baggerwerkzaamheden in een rivierbedding).
51. Gasopslag en zandwinning vinden plaats op verschillende dieptes.



52. Koude-warmte opslag en zandwinning kunnen plaatsvinden op een verschillende diepte. Bij diepere winning van zand (bv uit formaties die deel uitmaken van het eerste watervoerende pakket) kan beïnvloeding van de stijghoogten in het watervoerend pakket plaatsvinden (onder meer door verwijdering van de deklaag of bijvoorbeeld het verwijderen van een sliblaag bij baggerwerkzaamheden in een rivierbedding).
53. De functies zandwinning en de diepere opslag van (radio)actief verontreinigd materiaal gaan in principe samen. Er is echter weinig bekend over bijvoorbeeld mogelijke veiligheidszone rond opslaglocaties van (radio)actief verontreinigd materiaal.
54. De aanwezigheid van ondiepe zandlagen in de ondergrond is in principe gunstig voor de ondersteuning van damwandconstructies voor ondiepe bouwputten. Zand dat vrijkomt bij de ontgravingswerkzaamheden voor grotere bouwputten is mogelijk winbaar; afhankelijk van met name de korrelgrootteverdeling van het zand. Het is verder in principe gunstig als de bouwput aan de onderzijde wordt afgesloten door een kleilaag (vermindering wateroverlast).
- 55, 56 De aanwezigheid van ondiepe zandlagen in de ondergrond is in principe gunstig voor de ondersteuning van damwandconstructies voor ondiepe bouwputten. Zand dat vrijkomt bij de ontgravingswerkzaamheden voor grotere bouwputten is mogelijk winbaar; afhankelijk van met name de korrelgrootteverdeling van het zand. Het is verder in principe gunstig als de bouwput aan de onderzijde wordt afgesloten door een kleilaag (vermindering wateroverlast).
- 57 Zand dat vrijkomt bij boorwerkzaamheden is bij scheiding van boorspoeling in principe geschikt voor hergebruik (afhankelijk van de korrelgrootteverdeling). Graafwerkzaamheden boven tunnels zijn niet meestal toegestaan, winningsmogelijkheden boven tunnels zijn dus beperkt. Zand dat vrijkomt bij werkzaamheden in een open bouwput is mogelijk geschikt voor winning.
- 58 De functie zandwinning en de ecosysteemfunctie regulering gaan niet goed samen, bij winning wordt de grond definitief verwijderd.
- 59 De functie zandwinning en de ecosysteemfunctie uitwisseling gaan niet goed samen, bij winning wordt de grond definitief verwijderd.
- 60 De functie zandwinning en de ecosysteemfunctie zuivering gaan niet goed samen, bij winning wordt de grond definitief verwijderd.
- 61 Aardgaswinning en grindwinning vinden plaats op verschillende dieptes; de functies storen elkaar niet.
- 62 Oliewinning en grindwinning vinden plaats op verschillende dieptes; functies storen elkaar niet.
- 63 Zoutwinning en grindwinning vinden plaats op verschillende dieptes (zoutwinning ca. 300-3000m); de functies storen elkaar niet.
- 64 Aardwarmtewinning en grindwinning vinden plaats op verschillende dieptes; de functies storen elkaar niet.

- 65 De winning van grind leidt tot vernietiging en verstoring van het ondiepe bodemarchief; de functies gaan niet samen.
- 66 De functie grindwinning en de reservoirfunctie voor aardkundige waarden gaan niet samen; de aardkundige waarden worden door de ontgravingswerkzaamheden vernietigd.
- 67 In bepaalde specifieke gevallen kan in de ruimte ontstaan in de ondergrond na de winning van het grind opslag van verontreinigd materiaal plaatsvinden; de afsluitende werking van kleilagen ontbreekt echter (een voorbeeld: de berging van verontreinigde klei langs de Maas in zand/grind afgravingen, het zgn. ‘omputten’). De gebruiksmogelijkheden van verontreinigde grond als bouwstoffen kunnen vergroot worden door de immobilisatie van verontreinigingen.
- 68 (Giet)water opslag en grindwinning kunnen plaatsvinden op een verschillend dieptebereik. Bij diepere winning van grind (bv uit formaties die deel uitmaken van het eerste watervoerende pakket) kan beïnvloeding van de stijghoogten in het watervoerend pakket plaatsvinden (onder meer door verwijdering van de deklaag of bijvoorbeeld het verwijderen van een sliblaag bij baggerwerkzaamheden in een rivierbedding).
- 69 De functies grindwinning en gasopslag kennen een verschillend dieptebereik; de functies storen elkaar niet.
- 70 Koude-warmte opslag en grindwinning kunnen plaatsvinden op een verschillend dieptebereik. Bij diepere winning van grind (bv uit formaties die deel uitmaken van het eerste watervoerende pakket) kan beïnvloeding van de stijghoogten in het watervoerend pakket plaatsvinden (onder meer door verwijdering van de deklaag).
- 71 De functies grindwinning en de diepere opslag van (radio)actief verontreinigd materiaal gaan in principe samen. Er is echter niets bekend over bijvoorbeeld mogelijke veiligheidszone rond opslaglocaties van (radio)actief verontreinigd materiaal.
- 72, 73, 74
- De aanwezigheid van stijvere lagen in de ondergrond is in principe gunstig voor de ondersteuning van damwandconstructies voor ondiepe bouwputten. Grind dat vrijkomt bij de ontgravingswerkzaamheden voor grotere bouwputten is winbaar; afhankelijk van de samenstelling van het grind. Het is verder in principe gunstig als de bouwput aan de onderzijde wordt afgesloten door een kleilaag (vermindering wateroverlast).
- 75 Grind dat vrijkomt bij boorwerkzaamheden is (bij scheiding van boorspoeling) in principe geschikt voor hergebruik. Graafwerkzaamheden boven tunnels zijn meestal niet toegestaan; winningsmogelijkheden boven tunnels zijn dus beperkt. Grind dat vrijkomt bij werkzaamheden in een open bouwput is mogelijk geschikt voor winning.
- 76 De functies grindwinning en de ecosysteemfunctie regulering gaan niet goed samen, bij winning wordt de grond definitief verwijderd.
- 77 De functie grindwinning en de ecosysteemfunctie uitwisseling gaan niet goed samen, bij winning wordt de grond definitief verwijderd.

- 78 De functie grindwinning en de ecosysteemfunctie zuivering gaan niet goed samen, bij winning wordt de grond definitief verwijderd.
- 79 Gelijktijdige productie van olie en gas uit hetzelfde reservoir komt slechts in een heel enkel geval voor (gelijktijdige productie van gas met olie leidt tot reductie en verlies van 'reservoir drive').
- 80 Winning vindt plaats in verschillende formaties, op verschillende dieptes; gelijktijdige winning uit verschillende formaties boven elkaar leidt tot extra veel bodemdaling en aardbevingsrisico's.
- 81 Winning gebeurt vaak uit verschillende formaties met een verschillend dieptebereik. De gelijktijdige winning van aardgas en aardwarmte ((Drink)water) uit hetzelfde reservoir komt niet voor. Oude putten kunnen wel evt. gebruikt worden voor de winning van aardwarmte. Winning (gelijktijdig of na elkaar) uit verschillende formaties boven elkaar leidt tot extra veel bodemdaling en aardbevingsrisico's.
- 82 De winning van aardgas en de reservoirfunctie van de ondergrond als bodemarchief kennen een verschillend dieptebereik. De functies storen elkaar in principe niet.
- 83 Aardgaswinning en de reservoirfunctie van de ondergrond voor aardkundige waarden kennen een verschillend dieptebereik. Olie- en zoutwinning vindt plaats in verschillende formaties en op verschillende dieptes. De gelijktijdige winning uit verschillende formaties boven elkaar leidt tot extra veel bodemdaling en aardbevingsrisico's.
- 84 De winning van aardgas en de reservoirfunctie van de ondergrond voor verontreinigingen kennen een verschillend dieptebereik. De functies storen elkaar in principe niet; bodemdaling kan wel leiden tot een verhoging van de grondwaterstand, met als gevolg dat verontreinigingen die oorspronkelijk boven grondwater liggen in contact komen met het grondwater.
- 85 Aardgaswinning en (giet)water opslag vinden plaats op verschillende dieptes in verschillende formaties.
- 86 CO<sub>2</sub> (en gas)opslag in lege aardgasvelden is mogelijk, beide functies volgen elkaar goed op in de tijd. Gasinjectie in nog producerende gasvelden kan in principe de productie verhogen (EGR 'enhanced gas recovery'). Er bestaat echter wel een reëel en moeilijk te beheersen risico op doorbraak van CO<sub>2</sub> in de producerende putten. CO<sub>2</sub> injectie kan de delfstofwinning elders ongunstig beïnvloeden (door drukinvloeden en ongewenste vermenging). Injectie van CO<sub>2</sub> kan een deel van de bodemdaling veroorzaakt door onttrekking van aardgas compenseren. Anderzijds kan ook verdere compactie van het reservoir optreden doordat kalkhoudende elementen in oplossing gaan in een CO<sub>2</sub> en waterrijke omgeving. Dit kan juist leiden tot extra bodemdaling.
- 87 Aardgaswinning en warmte-koude opslag vinden plaats op verschillende dieptes in verschillende formaties.

- 88 De functies aardgaswinning en de diepere opslag van (radio)actief verontreinigd materiaal gaan vermoedelijk niet goed samen (vanuit veiligheidsoverwegingen). Aardgasboringen kunnen mogelijk opslagplaatsen aanboren en aardgaswinning kan leiden tot ongewenste geïnduceerde aardbevingen.
- 89, 90, 91, 92 De functies aardgaswinning en de ruimtelfunctie voor ondiepe ondergrondse verblijfsruimten hebben een verschillend dieptebereik. Aardgaswinning leidt wel tot bodemdaling en aardbevingsrisico's met mogelijke schade aan latere constructies. Ondergrondse constructies zijn echter vaak minder gevoelig voor aardbevingschade dan bovengrondse constructies. Ondergrondse constructies zijn wel gevoelig voor differentiële zettingen (veroorzaakt door bijvoorbeeld ondiepere breukbewegingen).
- 93 Aardgaswinning heeft in principe geen invloed op de ondiepe reguleringsfunctie van de ondergrond. Aardgaswinning heeft echter wel invloed op het bodemecosysteem en de samenhangende reguleringsfunctie bij een veranderende waterhuishouding ten gevolge van bodemdaling. Ook indien verontreiniging van de grond optreedt ten gevolge van de winning heeft dit gevolgen voor het bodemecosysteem en de samenhangende reguleringsfunctie.
- 94 Aardgaswinning heeft in principe geen invloed op de ondiepe uitwisselingsfunctie van de ondergrond. Aardgaswinning heeft echter wel invloed op het uitwisselingscomplex bij een veranderende waterhuishouding ten gevolge van bodemdaling.
- 95 Aardgaswinning heeft in principe geen invloed op de ondiepe zuiveringsfunctie van de ondergrond. Aardgaswinning heeft echter wel invloed op het bodemecosysteem en zuivering bij een veranderende waterhuishouding ten gevolge van bodemdaling. Ook indien verontreiniging van de grond optreedt ten gevolge van de winning heeft dit gevolgen voor het bodemecosysteem en de zuivering.
- 96 Olie en zoutwinning gaan niet samen. Winning vindt plaats in verschillende formaties, op verschillende dieptes; gelijktijdige winning uit verschillende formaties boven elkaar leidt tot extra veel bodemdaling en aardbevingsrisico's.
- 97 De winning van olie en aardwarmte vindt vaak plaats in verschillende formaties. Het vrijkomend water uit oliereservoir is verontreinigd; oude putten kunnen wel evt. gebruikt worden voor de latere winning van aardwarmte. Winning (gelijktijdig of na elkaar) van grondwater voor aardwarmte en olie leidt (zonder herinjectie) tot extra bodemdaling en aardbevingsrisico's.
- 98 De winning olie en de reservoirfunctie van de ondergrond als bodemarchief kennen een verschillend dieptebereik. De functies storen elkaar in principe niet.
- 99 Oliewinning en de reservoirfunctie van de ondergrond voor aardkundige waarden kennen een verschillend dieptebereik.

- 100 De winning van olie en de reservoirfunctie van de ondergrond voor verontreinigingen kennen een verschillend dieptebereik. De functies storen elkaar in principe niet; bodemdaling kan wel leiden tot een verhoging van de grondwaterstand, met als gevolg dat verontreinigingen die oorspronkelijk boven grondwater liggen in contact komen met het grondwater.
- 101 Oliewinning en (giet)water opslag vinden plaats op verschillende dieptes in verschillende formaties.
- 102 CO<sub>2</sub> opslag in lege olievelden is in principe (middels ‘enhanced oil recovery’) mogelijk, wel is de opslagcapaciteit van lege olievelden (in Nederland) vermoedelijk beperkt. CO<sub>2</sub> injectie kan een deel van de bodemdaling, veroorzaakt door het onttrekken van aardolie, compenseren. Anderzijds kan ook verdere bodemdaling optreden doordat kalkhoudende elementen in het reservoir in de CO<sub>2</sub> en waterhoudende omgeving in oplossing gaan (compactie reservoir)
- 103 Oliewinning en warmte-koude opslag vinden plaats op verschillende dieptes in verschillende formaties.
- 104 De functies oliewinning en de diepere opslag van (radio)actief verontreinigd materiaal gaan vermoedelijk niet goed samen (vanuit veiligheidsoverwegingen). Olieboringen kunnen mogelijk opslagplaatsen aanboren en winning kan leiden tot ongewenste geïnduceerde aardbevingen.
- 105, 106, 107, 108  
De functies oliewinning en de ruimtelfunctie hebben een verschillend dieptebereik. Oliewinning leidt wel tot bodemdaling en aardbevingsrisico's met mogelijke schade aan latere constructies. Ondergrondse constructies zijn echter vaak minder gevoelig voor aardbevingschade dan bovengrondse constructies. Ondergrondse constructies zijn wel gevoelig voor differentiële zettingen (veroorzaakt door bijvoorbeeld ondiepere breukbewegingen).
- 109 Oliewinning heeft in principe geen invloed op de ondiepe reguleringsfunctie van de ondergrond. Oliewinning heeft echter wel invloed op het bodemecosysteem en de samenhangende reguleringsfunctie bij een veranderende waterhuishouding ten gevolge van bodemdaling. Ook indien verontreiniging van de grond optreedt ten gevolge van de winning heeft dit gevolgen voor het bodemecosysteem en de samenhangende reguleringsfunctie.
- 110 Oliewinning heeft in principe geen invloed op de ondiepe uitwisselingsfunctie van de ondergrond. Oliewinning heeft echter wel invloed op het uitwisselingscomplex bij een veranderende waterhuishouding ten gevolge van bodemdaling.
- 111 Oliewinning heeft in principe geen invloed op de ondiepe zuiveringsfunctie van de ondergrond. Oliewinning heeft echter wel invloed op het bodemecosysteem en zuivering bij een veranderende waterhuishouding ten gevolge van bodemdaling. Ook indien verontreiniging van de grond optreedt ten gevolge van de winning heeft dit gevolgen voor het bodemecosysteem en de zuivering.

- 112 Zout en aardwarmtewinning vindt plaats in verschillende formaties en op verschillende dieptes; de gelijktijdige winning (zonder herinjectie) leidt wel tot extra bodemdaling en aardbevingsrisico's.
- 113 De winning zout en de reservoirfunctie van de ondergrond als bodemarchief kennen een verschillend dieptebereik. De functies storen elkaar in principe niet.
- 114 Zoutwinning en de reservoirfunctie van de ondergrond voor aardkundige waarden kennen een verschillend dieptebereik.
- 115 De winning van zout en de reservoirfunctie van de ondergrond voor verontreinigingen kennen een verschillend dieptebereik. De functies storen elkaar in principe niet; bodemdaling kan wel leiden tot een verhoging van de grondwaterstand, met als gevolg dat verontreinigingen die oorspronkelijk boven grondwater liggen in contact komen met het grondwater.
- 116 Zoutwinning en (giet)water opslag vinden plaats op verschillende dieptes in verschillende formaties.
- 117 Uit onderzoek is gebleken dat de opslagcapaciteit van zoutcavernen voor CO<sub>2</sub> te beperkt en de opslag mogelijk niet geheel veilig is (lange-termijn instabiliteit van de zout-cavernen); de tijdelijke opslag van aardgas en aardolie in zoutcavernen is wel mogelijk.
- 118 Zoutwinning en warmte-koude opslag vinden plaats op verschillende dieptes in verschillende formaties.
- 119 In het verleden is onderzoek verricht naar de mogelijkheden van opslag van (radioactief) afval in verlaten zoutmijnen en diapieren, de functies kunnen elkaar mogelijk opvolgen in de tijd.
- 120 De functies zoutwinning en de ruimtefunctie voor ondiepe ondergrondse verblijfsruimten hebben een verschillend dieptebereik. Oliewinning leidt wel tot bodemdaling en aardbevingsrisico's met mogelijke schade aan latere constructies. Ondergrondse constructies zijn echter vaak minder gevoelig voor aardbevingsschade dan bovengrondse constructies. Ondergrondse constructies zijn wel gevoelig voor differentiële zettingen (veroorzaakt door bijvoorbeeld ondiepere breukbewegingen).
- 121 De functies zoutwinning en de ruimtefunctie voor ondiepe ondergrondse lineaire structuren hebben een verschillend dieptebereik. Oliewinning leidt wel tot bodemdaling en aardbevingsrisico's met mogelijke schade aan latere constructies. Ondergrondse constructies zijn echter vaak minder gevoelig voor aardbevingsschade dan bovengrondse constructies. Ondergrondse constructies zijn wel gevoelig voor differentiële zettingen (veroorzaakt door bijvoorbeeld ondiepere breukbewegingen).
- 122 De functies zoutwinning en de ruimtefunctie voor diepe ondergrondse verblijfsruimten hebben een verschillend dieptebereik. oliewinning leidt wel tot bodemdaling en aardbevingsrisico's met mogelijke schade aan latere constructies. Ondergrondse constructies zijn echter vaak minder gevoelig voor aardbevingsschade dan bovengrondse constructies. Ondergrondse constructies zijn wel gevoelig voor differentiële zettingen (veroorzaakt door bijvoorbeeld ondiepere breukbewegingen).

- 123 De functies zoutwinning en de ruimtelfunctie voor diepe ondergrondse lineaire structuren hebben een verschillend dieptebereik. oliewinning leidt wel tot bodemdaling en aardbevingsrisico's met mogelijke schade aan latere constructies. Ondergrondse constructies zijn echter vaak minder gevoelig voor aardbevingschade dan bovengrondse constructies. Ondergrondse constructies zijn wel gevoelig voor differentiële zettingen (veroorzaakt door bijvoorbeeld ondiepere breukbewegingen).
- 124 Zoutwinning heeft in principe geen invloed op de ondiepe reguleringsfunctie van de ondergrond, behalve bij verontreiniging van de bovengrond. Wel kan bodemdaling leiden tot wijzigingen in de grondwaterstand en waterhuishouding en daarmee tot wijzigingen in de ecosysteemfunctie van de ondergrond en de daarmee samenhangende reguleringsfunctie.
- 125 Zoutwinning heeft in principe geen invloed op de ondiepe uitwisselingsfunctie van de ondergrond. Zoutwinning heeft echter wel invloed op het uitwisselingscomplex bij een veranderende waterhuishouding ten gevolge van bodemdaling.
- 126 Zoutwinning heeft in principe geen invloed op de ondiepe zuiveringsfunctie van de ondergrond. Zoutwinning heeft echter wel invloed op het bodemecosysteem en zuivering bij een veranderende waterhuishouding ten gevolge van bodemdaling. Ook indien verontreiniging van de grond optreedt ten gevolge van de winning heeft dit gevolgen voor het bodemecosysteem en de zuivering.
- 127 De winning van aardwarmte en de reservoirfunctie van de ondergrond als bodemarchief kennen een verschillend dieptebereik. De functies storen elkaar in principe niet.
- 128 Aardwarmtewinning en de reservoirfunctie van de ondergrond voor aardkundige waarden kennen een verschillend dieptebereik.
- 129 De winning van aardwarmte en de reservoirfunctie van de ondergrond voor verontreinigingen kennen een verschillend dieptebereik. De functies storen elkaar in principe niet; bodemdaling kan wel leiden tot een verhoging van de grondwaterstand, met als gevolg dat verontreinigingen die oorspronkelijk boven grondwater liggen in contact komen met het grondwater.
- 130 In principe hebben traditionele aardwarmtewinning en (giet)water opslag een verschillend dieptebereik.
- 131 CO<sub>2</sub>-opslag in diepere aquifers (vanaf zo'n 800m diepte) lijkt in principe mogelijk (verder onderzoek is gewenst); CO<sub>2</sub> opslag leidt mogelijk tot veranderingen van grondwaterstromingen en veranderingen van chemische evenwichten.
- 132 In principe hebben traditionele aardwarmtewinning en warmte/koude opslag een verschillend dieptebereik.

- 133 De functies aardwarmtewinning en de diepere opslag van (radio)actief verontreinigd materiaal gaan vermoedelijk niet goed samen (vanuit veiligheids-overwegingen). Boringen voor de aardwarmtewinning kunnen mogelijk opslagplaatsen aanboren en winning kan leiden tot ongewenste geïnduceerde aardbevingen.
- 134 De functies aardwarmtewinning en de ruimtelfunctie voor ondiepe ondergrondse verblijfsruimten hebben een verschillend dieptebereik. Aardwarmtewinning leidt wel tot bodemdaling en aardbevingsrisico's met mogelijke schade aan latere constructies. Ondergrondse constructies zijn echter vaak minder gevoelig voor aardbevingsschade dan bovengrondse constructies. Ondergrondse constructies zijn wel gevoelig voor differentiële zettingen (veroorzaakt door bijvoorbeeld ondiepere breukbewegingen).
- 135 De functies aardwarmtewinning en de ruimtelfunctie voor ondiepe ondergrondse lineaire structuren hebben een verschillend dieptebereik. Aardwarmtewinning leidt wel tot bodemdaling en aardbevingsrisico's met mogelijke schade aan latere constructies. Ondergrondse constructies zijn echter vaak minder gevoelig voor aardbevingsschade dan bovengrondse constructies. Ondergrondse constructies zijn wel gevoelig voor differentiële zettingen (veroorzaakt door bijvoorbeeld ondiepere breukbewegingen).
- 136 De functies aardwarmtewinning en de ruimtelfunctie voor diepe ondergrondse verblijfsruimten hebben een verschillend dieptebereik. Aardwarmtewinning leidt wel tot bodemdaling en aardbevingsrisico's met mogelijke schade aan latere constructies. Ondergrondse constructies zijn echter vaak minder gevoelig voor aardbevingsschade dan bovengrondse constructies. Ondergrondse constructies zijn wel gevoelig voor differentiële zettingen (veroorzaakt door bijvoorbeeld ondiepere breukbewegingen).
- 137 De functies aardwarmtewinning en de ruimtelfunctie voor diepe ondergrondse lineaire structuren hebben een verschillend dieptebereik. Aardwarmtewinning leidt wel tot bodemdaling en aardbevingsrisico's met mogelijke schade aan latere constructies. Ondergrondse constructies zijn echter vaak minder gevoelig voor aardbevingsschade dan bovengrondse constructies. Ondergrondse constructies zijn wel gevoelig voor differentiële zettingen (veroorzaakt door bijvoorbeeld ondiepere breukbewegingen).
- 138 Aardwarmtewinning heeft in principe geen invloed op de ondiepe reguleringsfunctie van de ondergrond. Wel kan bodemdaling leiden tot wijzigingen in de grondwaterstand en waterhuishouding en daarmee tot wijzigingen in de ecosysteemfunctie van de ondergrond en de daarmee samenhangende reguleringsfunctie.
- 139 Aardwarmtewinning heeft in principe geen invloed op de ondiepe uitwisselingsfunctie van de ondergrond. Aardwarmtewinning heeft echter wel invloed op het uitwisselingscomplex bij een veranderende waterhuishouding ten gevolge van bodemdaling.



- 140 Aardwarmtewinning heeft in principe geen invloed op de ondiepe zuiveringsfunctie van de ondergrond. Aardwarmtewinning heeft echter wel invloed op het bodemecosysteem en zuivering bij een veranderende waterhuishouding ten gevolge van bodemdaling. Ook indien verontreiniging van de grond optreedt ten gevolge van de winning heeft dit gevolgen voor het bodemecosysteem en de zuivering.
- 141 Door de aanwezigheid van verontreinigingen kan de waarde van het bodemarchief sterk afnemen.
- 142 Onttrekking van (giet)water kan gepaard gaan met grondwaterstandsverlagingen. Het ‘bodemarchief’ (de archeologische inhoud) is zeer gevoelig voor veranderingen (verlagingen) in de grondwaterstand en veranderingen in de redox-toestand van de bodem. Beide functies gaan niet goed samen indien er geen maatregelen worden genomen om de grondwaterstandsverlagingen te beperken).
- 143 De functies bodemarchief en gasopslag storen elkaar niet – verschillend dieptebereik.
- 144 Onttrekking van water kan gepaard gaan met grondwaterstandsverlagingen. Het ‘bodemarchief’ (de archeologische inhoud) is zeer gevoelig voor veranderingen (verlagingen) in de grondwaterstand en veranderingen in de redox-toestand van de bodem. Beide functies gaan niet goed samen indien er geen maatregelen worden genomen om de grondwaterstandsverlagingen te beperken).
- 145 De reservoirfuncties van de ondergrond voor het bodemarchief en de opslag van (radio)actief afval kennen een verschillend dieptebereik.
- 146 De reservoirfunctie voor het bodemarchief gaat niet samen met de ruimtefunctie voor ondiepe ondergrondse verblijfsruimten. Door ontgravingswerkzaamheden wordt het bodemarchief vernietigd.
- 147 De reservoirfunctie voor het bodemarchief en de aardkundige waarden gaan goed samen.
- 148 De reservoirfunctie voor het bodemarchief gaat niet samen met de ruimtefunctie voor ondiepe vernietigd.
- 149 De reservoirfunctie voor het bodemarchief gaat niet samen met de ruimtefunctie voor diepe ondergrondse verblijfsruimten. Door ontgravingswerkzaamheden vanaf het maaiveld wordt het bodemarchief vernietigd.
- 150 De reservoirfunctie voor het bodemarchief gaat niet samen met de ruimtefunctie voor diepe ondergrondse lineaire structuren, wanneer deze structuren worden aangelegd vanaf het maaiveld. Door de ontgravingswerkzaamheden wordt het bodemarchief vernietigd. Het ondiepe bodemarchief boven bijvoorbeeld tunnels kan wel behouden blijven als de constructiewerkzaamheden niet vanaf het maaiveld plaatsvinden, bijvoorbeeld bij het boren van tunnels.
- 151 De reservoirfunctie voor het bodemarchief en de ecosysteemfunctie regulering gaan goed samen.

- 152 De reservoirfunctie voor het bodemarchief en de ecosysteemfunctie uitwisseling gaan goed samen.
- 153 De reservoirfunctie voor het bodemarchief en de ecosysteemfunctie zuivering gaan goed samen.
- 154 Door de aanwezigheid van verontreinigingen kan de aardkundige waarde sterk afnemen.
- 155 De opslag van (giet)water en de reservoirfunctie van de ondergrond voor aardkundige waarden gaan goed samen.
- 156 De functies kennen een verschillend dieptebereik en storen elkaar niet.
- 157 De functies koude/warmte opslag en de reservoirfunctie voor aardkundige waarden storen elkaar niet.
- 158 Beide functies beconcurreren elkaar om de ondiepe ondergrondse ruimte.
- 159, 160 De reservoirfunctie voor aardkundige waarden en de ruimtefunctie voor ondiepe ondergrondse structuren gaan niet goed samen; de grond wordt ontgraven en verwijderd en de bodemstructuur wordt vernietigd.
- 161 Doordat ondergrondse verblijfsruimten veelal vanaf het maaiveld worden aangelegd vindt verstoring van de aardkundige waarden plaats, doordat de grond wordt ontgraven, eventueel verwijderd en de bodemstructuur wordt verstoord.
- 162 Aardkundige waarden worden vernietigd als de aanleg van de diepere ondergrondse constructies vanaf het maaiveld plaatsvindt. Bij het boren van tunnels kunnen ondiepe aardkundige waarden behouden blijven.
- 163, 164, 165 Beide functies gaan goed samen
- 166 De reservoirfuncties voor verontreinigingen en de opslag van (giet)water gaan niet goed samen. Door injectie en onttrekking van het gietwater vindt beïnvloeding van in de omgeving aanwezige grondwaterverontreinigingen plaats.
- 167 De reservoirfunctie voor verontreinigingen en gasopslag kennen een verschillend dieptebereik.
- 168 De reservoirfuncties voor verontreinigingen en de opslag van warmte/koude gaan niet goed samen. Door injectie en onttrekking van het water t.b.v. de warmte/koude opslag vindt beïnvloeding van in de omgeving aanwezige grondwaterverontreinigingen plaats.
- 169 De reservoirfunctie voor verontreinigingen en de opslag van (radio)actief verontreinigd materiaal kennen een verschillend dieptebereik.
- 170, 171, 172, 173 Ondergronds bouwen kan goed gecombineerd worden met de aanpak van ernstige mobiele verontreinigingen: 'werk met werk maken'. De kosten voor het ondergronds bouwen nemen hierdoor echter wel toe, doordat bij de werkzaamheden verontreinigd materiaal vrijkomt.

- 174 Functies gaan niet altijd goed samen, bij ernstige verontreinigingen wordt het bodemecosysteem en daarmee de reguleringsfunctie van de ondergrond aangetast.
- 175, 176 Verontreiniging en uitwisseling Functies gaan in een aantal gevallen wel samen; in de bodem vindt onder bepaalde omstandigheden afbraak van (micro)verontreinigingen plaats. Anderzijds kunnen verontreinigingen ook het bodemecosysteem en daarmee het zuiveringsvermogen juist aantasten.
- 177 Gietwater opslag en CO<sub>2</sub> opslag vinden op verschillende dieptes plaats. Vrijkomend CO<sub>2</sub> kan in principe leiden tot verandering van grondwaterstroming. Vrijkomend CO<sub>2</sub> kan tevens leiden tot verandering chemische evenwichten (bv hardheid grondwater).
- 178 Gietwateropslag en warmte/koude opslag beconcurreren elkaar om ondergrondse ruimte.
- 179 De reservoirfuncties van de ondergrond voor gietwateropslag en de opslag van (radio)actief afval kennen een verschillend dieptebereik. Er is momenteel echter weinig bekend over de veiligheidsmaatregelen rondom ondergrondse opslaglocaties voor radioactief afval.
- 180 De functies opslag van gietwater en de ruimtefunctie voor ondiepe ondergrondse verblijfsruimten hebben een verschillend dieptebereik, fluctuaties in stijghoogte t.g.v. van infiltratie en onttrekking van gietwater leiden mogelijk tot bodemdaling met mogelijke schade aan latere constructies.
- 181 De functies opslag van gietwater en de ruimtefunctie voor ondiepe ondergrondse lineaire structuren hebben een verschillend dieptebereik, fluctuaties in stijghoogte t.g.v. van infiltratie en onttrekking van gietwater leiden mogelijk tot bodemdaling met mogelijke schade aan latere constructies.
- 182 Grotere diepe bouwputten e ondergrondse werken tot in het watervoerend pakket kunnen de grondwaterstroming verstoren. Stijghoogte fluctuaties t.g.v infiltratie en onttrekking van gietwater kunnen zettingen en schade veroorzaken.
- 183 Tunnels tot in watervoerend pakket kunnen de grondwaterstroming verstoren. De stijghoogte fluctuaties t.g.v. de infiltratie en onttrekking van het gietwater kunnen zettingen en schade veroorzaken.
- 184 De opslag van (giet)water (menging van grondwater) beïnvloedt mogelijk de (geo)chemische kwaliteit en de temperatuur van het grondwater en daarmee het bodemecosysteem. Grondwaterstandfluctuaties die kunnen optreden bij de afwisselende infiltratie en onttrekking van grondwater kunnen leiden tot veranderingen in de waterhuishouding en het bodemecosysteem.
- 185 De opslag van (giet)water (menging met grondwater) beïnvloedt de (geo)chemische kwaliteit van het grondwater. grondwaterstandfluctuaties die kunnen optreden bij de afwisselende infiltratie en onttrekking van grondwater kunnen leiden tot veranderingen in de waterhuishouding en het bodemecosysteem.

- 186 De opslag van (giet)water (menging met grondwater) beïnvloedt mogelijk de (geo)chemische kwaliteit en de temperatuur van het grondwater en daarmee het bodemecosysteem. Grondwaterstandfluctuaties die kunnen optreden bij de afwisselende infiltratie en onttrekking van Grondwater kunnen leiden tot veranderingen in de waterhuishouding en het bodemecosysteem.
- 187 De opslag van CO<sub>2</sub> vindt op grotere diepte plaats. Vrijkomend CO<sub>2</sub> kan in principe leiden tot veranderingen in grondwaterstromingen. Vrijkomend CO<sub>2</sub> kan tevens leiden tot verandering chemische evenwichten (bv hardheid grondwater).
- 188 De reservoirfuncties van de ondergrond voor de opslag van CO<sub>2</sub> en de opslag van (radio)actief afval gaan vanuit veiligheidsoverwegingen vermoedelijk niet goed samen (bijvoorbeeld door het risico op geïnduceerde aardbevingen).
- 189, 190, 191, 192  
De functies hebben een verschillend dieptebereik maar injectie leidt wel tot extra aardbevingsrisico's met mogelijke schade aan latere constructies.
- 193 De functies kennen een verschillend dieptebereik. De invloed op de biodiversiteit op grotere diepte is niet goed bekend. Bij ontsnapping van CO<sub>2</sub> naar het grondwater kunnen chemische en microbiologische evenwichten worden verstoord.
- 194 De functies kennen een verschillend dieptebereik, bij het vrijkomen van CO<sub>2</sub> kan uitwisseling met de atmosfeer plaatsvinden. Bij ontsnapping van CO<sub>2</sub> naar het grondwater kunnen chemische en microbiologische evenwichten worden verstoord.
- 195 De functies kennen een verschillend dieptebereik. De invloed op de biodiversiteit op grotere diepte is niet goed bekend. Bij ontsnapping van CO<sub>2</sub> naar het het grondwater kunnen chemische en microbiologische evenwichten worden verstoord.
- 196 De reservoirfuncties van de ondergrond voor koude warmte opslag en de opslag van (radio)actief afval kennen een verschillend dieptebereik. Er is momenteel echter weinig bekend over de veiligheidsmaatregelen rondom ondergrondse opslaglocaties voor radioactief afval.
- 197, 198  
De functies hebben een verschillend dieptebereik, fluctuaties in stijghoogte leiden mogelijk tot bodemdaling met mogelijke schade aan latere constructies.
- 199 Grotere diepe bouwputten en ondergrondse constructies tot in het watervoerend pakket kunnen de grondwaterstroming verstoren. Stijghoogte fluctuaties ten gevolge van infiltraties en onttrekkingen kunnen zettingen en schade veroorzaken.
- 200 Tunnels tot in het watervoerend pakket kunnen de grondwaterstroming verstoren. Stijghoogte fluctuaties ten gevolge van infiltraties en onttrekkingen kunnen zettingen en schade veroorzaken.

- 201 De opslag van koude en warmte water (menging met grondwater) beïnvloedt mogelijk de (geo)chemische kwaliteit en de temperatuur van het grondwater en daarmee het bodemecosysteem. Grondwaterstandsfluctuaties die kunnen optreden bij de afwisselende infiltratie en onttrekking van Grondwater kunnen leiden tot veranderingen in de waterhuishouding en het bodemecosysteem.
- 202 De opslag van koude en warmte (menging met grondwater) beïnvloedt de (geo)chemische kwaliteit en de temperatuur van het grondwater. Grondwaterstandsfluctuaties die kunnen optreden bij de afwisselende infiltratie en onttrekking van grondwater kunnen leiden tot veranderingen in de waterhuishouding en het bodemecosysteem.
- 203 De opslag van koude en warmte (menging met grondwater) beïnvloedt mogelijk de (geo)chemische kwaliteit en de temperatuur van het grondwater en daarmee het bodemecosysteem. Grondwaterstandsfluctuaties die kunnen optreden bij de afwisselende infiltratie en onttrekking van grondwater kunnen leiden tot veranderingen in de waterhuishouding en het bodemecosysteem.
- 204, 205, 206, 207  
De opslag van radioactief afval en de constructie van ondiepe ondergrondse verblijfsruimten kennen een verschillend dieptebereik. Tot nu toe is echter weinig bekend over de veiligheidsmaatregelen rondom ondergrondse opslaglocaties voor radioactief afval.
- 208 Beide functies kennen een ander dieptebereik. Er is wel invloed op de diepere biodiversiteit.
- 209, 110  
Beide functies kennen een verschillend dieptebereik.
- 211 Beide functies concurreren elkaar om de ondiepe ondergrondse ruimte
- 212 Een gunstige bodemopbouw voor ondiepe bouwputten betekent niet altijd een gunstige opbouw voor diepere bouwputten. Door deze functies te ‘stapelen’ wordt wel optimaal gebruik van de ondergrondse ruimte.
- 213 Een gunstige bodemopbouw voor ondiepe bouwputten betekent niet altijd gunstige opbouw voor geboorde tunnels. Door functies te ‘stapelen’ wordt wel optimaal gebruik gemaakt van de ondergrondse ruimte. Ondergrondse structuren als geboorde tunnels kennen echter wel veiligheidszones waardoor er strenge eisen en beperkingen gesteld worden aan ontgravingswerkzaamheden nabij de tunnels.
- 214, 215, 216  
De ecosysteemfuncties en de ruimtefunctie voor ondiepe ondergrondse structuren gaan niet goed samen; de grond wordt ontgraven en verwijderd en de bodemstructuur wordt vernietigd.
- 218 Een gunstige bodemopbouw voor ondiepe bouwputten betekent niet altijd een gunstige opbouw voor geboorde tunnels. Door deze functies te ‘stapelen’ vindt wel een optimaal gebruik van de ruimte plaats.

219, 220, 221

De ecosysteemfuncties en de ruimtefunctie voor ondiepe ondergrondse structuren gaan niet goed samen; de grond wordt ontgraven en verwijderd en de bodemstructuur wordt vernietigd.

222 Deze functies beconcurreren elkaar om ondergrondse ruimte; functies kunnen wel gestapeld worden.

223, 224, 225

Doordat ondergrondse verblijfsruimten veelal vanaf het maaiveld worden aangelegd vindt verstoring van de ecosysteemfuncties plaats, doordat de grond wordt ontgraven, eventueel verwijderd en de bodemstructuur wordt verstoord.

226, 227, 228

Wanneer ondergrondse lineaire structuren als tunnels vanaf het maaiveld worden aangelegd vindt verstoring van de ecosysteemfuncties plaats, doordat de grond wordt ontgraven, eventueel verwijderd en de bodemstructuur wordt verstoord. Bij het boren van tunnels is de invloed op het ondiepere ecosysteem beperkt.

229, 230

Beide ecosysteemfuncties gaan goed samen.

231 Beide ecosysteemfuncties gaan goed samen.



1. Door invloeden vanaf het maaiveld zijn deze aquifers vaak niet van die kwaliteit dat deze gebruikt kunnen worden. Daarnaast zijn de effecten die (grond)waterwinning met zich meebrengt (zetting) en door ruimtegebrek voor bewerking niet te combineren met een dichtbebouwd gebied.
2. De hoeveelheid en de kwaliteit van de vrijkomende grond zijn in deze gebieden vaak van dien aard dat het niet in aanmerking komt voor commerciële doeleinden.
3. Door de bijwerkingen van een dergelijk winningproces en het ruimtegebrek worden velden onder intensief bebouwde gebieden meestal niet als kansrijke velden gezien. Echter door nieuwe technieken kan dit wel vaker voorkomen.
4. De behoefte aan een dergelijke functie is wel aanwezig. Vaak is ruimtegebrek wel een belemmering.
5. Geen bovengrondse behoefte.
6. Alleen kleinschalig gebruik, daarnaast moet er wel rekening worden gehouden met de effecten van winning op de bovengrond.
7. Door intensief gebruik van de bovenste laag (funderingen kabels & leidingen etc) is in deze gebieden al veel verloren gegaan. Echter zijn in deze gebieden wel verschillende mogelijkheden te bedenken om de waardevolle gegevens tentoonstellen en onder de grond te conserveren. Bijv. archeologische vondsten tentoonstellen in ondergrondse ruimten.
8. Door reeds lang en intensief gebruik van de bovengrond bevinden zich vaak verontreinigingen in dit gebied. Hiermee dient dus bij de planning van werkzaamheden rekening te worden gehouden.
9. Is waarschijnlijk wel bewaard gebleven en kan worden blootgelegd. Kan echter wel stagnatie bij ontwikkelingen opleveren.
10. Genoeg bovengrondse behoefte aan energie. Het soort systeem is wel afhankelijk van de dichtheid van bebouwing.
11. Bijv. halfverdiepte gebouwen, opslagkelders en parkeerplaatsen voor winkelcentra kantoorgebouwen leveren in een stadscentrum een ruimte winst op. Door het half verdiepen gaat het contact met het maaiveld niet verloren wat het veiligheidsgevoel vast houdt.
12. Vanwege maatschappelijke problemen zou dit geen goed combinatie zijn.
13. Gezien het ruimtebeslag wat nodig is voor het aanleggen van dergelijke functies (en het ruimtegebrek in stedelijk gebied) kan het zijn dat de voorkeur gegeven moet worden aan geboorde tunnels. Halfverdiepte wegen, trams en metro's leveren met name ruimte winst op voor knooppunten, waarbij uitwijken naar de ondergrond de leefbaarheid meer ten goede komt dan uitwijken naar de hoogte.
14. Bijv. Ondergrondse parkeergarages, opslagruimte maar ook leefruimte kunnen goed gecombineerd worden met bijv. wonen en werken in de stad. In een stadscentrum levert het zeker veel ruimtewinst op, daarnaast levert het een positieve bijdrage aan de leefbaarheid op wanneer metro's, auto's en trams ondergronds worden geleid.
15. Wanneer metro's, auto's en trams ondergronds worden geleid levert het in een stadscentrum veel ruimtewinst en een betere leefbaarheid op.



16. Vaak is er in dit soort gebieden minder ruimtegebrek en minder verkeer. Ondergrondse infrastructuur is zeker een goede combinatie om de leefbaarheid te verhogen.
17. Ruimtegebrek is vaak niet echt relevant in deze gebieden. Maar het ondergronds brengen van hinderlijke functies verhoogt de leefbaarheid. Leefbaarheid kan een belangrijk punt zijn.
18. Vaak is in dit soort gebieden niet het ruimtegebrek de motivatie om ondergronds te gaan. Echter kunnen bijv. discotheken, opslagruimte, parkeergelegenheden, kleedlokalen etc. heel goed ondergronds gebouwd worden waardoor bovengronds meer ruimte overblijft voor andere functies zoals openbaar groen etc.
19. Ondergrondse Infrastructuur is een goede combinatie in dergelijke gebieden.
20. Bijv. halfverdiepte gebouwen, opslagkelders en parkeerplaatsen voor winkelcentra en kantoorgebouwen leveren een ruimtewinst op. Door het half verdiepen gaat het contact met het maaiveld niet verloren wat het veiligheidsgevoel vast houdt.
21. Snelwegen als een half verdiepte infra sec of in combinatie met bovenliggende infra om knooppunten niet in de hoogte maar in de diepte op te lossen.
22. Afhankelijk van funderingseisen van de wegen. Daarnaast kunnen er ook problemen ontstaan met toegangsmogelijkheden.
23. Het is een mogelijke toepassing in dit gebied. De bovengrondse behoefte, afhankelijk van de soort (bijv. een groot kantorencomplex, een ziekenhuis) en intensiteit van de bebouwing, is hier wel sturend in.
24. Afhankelijk van de soort bovengrondse energievraag (zowel warmte als koude vraag in verschillende perioden van het jaar) zou dit een goede combi zijn.
25. De kans op bodemverontreiniging is in deze gebieden kleiner. Vanuit historisch gebruik kan dit worden ingeschat zodat bij planning van de inrichting hier rekening mee kan worden gehouden.
26. Bodemarchief is waarschijnlijk wel bewaard gebleven en kan worden blootgelegd bijvoorbeeld door combinatie van verblijfsruimte en tentoonstelling van archeologische vondsten. De kans op dergelijke vondsten moet wel van tevoren goed worden ingeschat om stagnatie bij ontwikkelingen te voorkomen.
27. Geen bovengrondse behoefte en geen handige toegangsmogelijkheden. Bijvoorbeeld wel een optie om langs de wegen ondergrondse parkeergelegenheid aan te leggen waar vandaan weer andere transportroutes een drukkergebied ingaan. Bijv. Carpoolplekken.
28. Middels het asfalt is een goede afdichting aanwezig, het asfalt als funderingslaag zal niet altijd even goed zijn.
29. Energieopslag in asfalt is mogelijk maar nog niet in een ver gevorderd stadium.

30. Vanuit historisch gebruik kunnen er op deze locaties verontreinigingen aanwezig zijn. Door de toepassing van de weg kunnen deze verontreinigingen functiegericht gesaneerd worden. Daarnaast kan door het gebruik als infrastructuur in de berm verontreinigingen zijn ontstaan.
31. Kan niet worden blootgelegd. Maar blijft wel (deels) bewaard.
32. Aanwezigheid van bijvoorbeeld archeologie kan stagnerend werken voor de aanleg van de verschillende functies.
33. In sommige gevallen kan de behoefte aanwezig zijn. Bijvoorbeeld attracties die veel energie vragen (bijv. skibanen, grote zwembaden). In die gevallen kan er aan warmteopwekking via aardwarmte gedacht worden.
34. Vanuit de bovengrondse functie is er vaak geen behoefte hieraan, afhankelijk van naastgelegen functies kan dit echter wel zo zijn.
35. Door zettingen kunnen vaak problemen ontstaan.
36. Dit zijn vaak gebieden waar bijvoorbeeld eerst grondstoffenwinning opgevolgd kan worden met inrichting van het gebied. De ruimte is hier wel aanwezig.
37. Wel genoeg ruimte voor winning en verwerking. Vervolgens zal het wel getransporteerd worden in deze gebieden is meestal geen bovengrondse behoefte.
38. Kan een goede combinatie zijn.
39. Afhankelijk van het soort materiaal en historisch gebruik kan de plek verdacht zijn.
40. Geen bovengrondse behoefte. Afhankelijk van de naastliggende functies kan dit gecombineerd worden.
41. Een fietsertunnel is vanwege veiligheidsgevoel niet altijd wenselijk
42. Parkeergelegenheid, perrons etc kunnen goed in de ondergrond gebouwd worden.
43. Ondergrondse infrastructuur is een goede optie om de bovengrondse druk op de ruimte en de leefbaarheid te verminderen.
44. Binnenstad niet haalbaar.
45. Voor omliggende kantoren kan dit interessant zijn.
46. Van oudsher verdachte locaties, met name ook voor asbest. Door de toepassing van het spoor kunnen deze verontreinigingen functiegericht gesaneerd worden. Daarnaast kan door het gebruik als infrastructuur in de berm verontreinigingen zijn ontstaan.
47. Kan niet worden blootgelegd. Maar blijft wel bewaard. Daarnaast kan de aanwezigheid van bijvoorbeeld waardevolle archeologie wel stagnerend werken op aanleg van deze bovengrondse functies.
48. Door zettingen kunnen vaak problemen ontstaan.
49. Eventueel wel bovengrondse behoefte, in dat geval kan aan deze combinatie gedacht worden.
50. Het asfalt is een goede afdichting, het stortmateriaal als funderingslaag zal niet altijd even goed zijn.

51. Geen bovengrondse behoefte en geen handige toegangsmogelijkheden. Bijvoorbeeld wel een optie om langs de wegen ondergrondse parkeergelegenheid aan te leggen waar vandaan weer andere transportroutes een drukkergebied ingaan. Bijv. Carpoolplekken.
52. Parkeergelegenheid, opslagruimte distributiecentra etc.
53. Geen bovengrondse behoefte maar wel een mogelijkheid.
54. De kwantiteit is over het algemeen niet van die orde dat de vrijkomende grond voor commerciële doeleinde kan worden gebruikt.
55. De mate waarin aardwarmte nodig is leidend voor de toepassing.
56. Archeologische vondsten kunnen worden blootgelegd.
57. Kan niet worden blootgelegd. Maar blijft wel bewaard.
58. Deze bovengrondse functie levert een kleine kans op bodemverontreiniging. Historisch gebruik is wel van belang voor eventuele bodemverontreiniging. Bij deze functie is echter wel een minder strenge eis aan bodemkwaliteit.
59. Voor de verwarming van kantoren kan dit een goed alternatief zijn.
60. Deze terreinen zijn vaak geheel verhard wat een goede bovenafdichting zou zijn voor historische afval.
61. Bijvoorbeeld opslagruimte zoals bibliotheken, maar ook parkeergelegenheden kunnen goed ondergronds worden gepland.
62. Bij deze bovengrondse functie is de kans op bodemverontreiniging groot. Bij het aanleggen van dergelijke functies dient rekening te worden gehouden met specifieke inrichtingseisen.
63. De kans op verontreinigingen (en dus ongeschikt water) is hier relatief groot. Vaak is een proceswaterwinning wel goed toepasbaar.
64. Aardwarmte kan een goede generator voor energie zijn in dit soortgebieden.
65. Bovengrondse gebouwen kunnen hier eventueel hinder van ondervinden, vice versa is dit natuurlijk ook het geval. Bijv een tunnel onder een fabriek met gevaarlijke stoffen geeft niet echt een goed veiligheidsgevoel.
66. Infrastructuur onder dit soort gebieden is een goede mogelijkheid.
67. Met een goede isolatie/ afdeklaag hoeft het bouwen op de belt geen probleem te zijn.
68. Bovengrondse vraag is groot.
69. Bovengrondse vraag is groot. Het scheelt enorm in ruimte wanneer de waterbassins ondergronds kunnen worden gebracht.
70. Bij dit bovengrondse gebruik is er een grote kans op macroverontreinigingen. Bij aanwezigheid van historische verontreinigingen wordt er een strenge eis gesteld aan de uiteindelijke kwaliteit van de bodem.
71. Kans op verontreinigingen is klein. Afhankelijk van historisch gebruik kan dit wel aanwezig zijn.
72. Kan worden blootgelegd.
73. Maatschappelijk niet haalbaar.
74. De (onder) grond is nodig voor de bovengrondse functie.
75. De kans op verontreiniging door gebruik is klein, echter zijn volkstuinten vaak gesitueerd op plekken waar historische verontreinigingen aanwezig zijn.

76. Geen bovengrondse behoefte tenzij enorme volkstuingebeden.
77. Historische afvalopslagplaatsen worden op dit moment vaak gebruikt als recreatiegebied (bijv. golfbanen, kunstsibanen).
78. Bij een goed afgedekte voormalige stort hoeft geen risico aanwezig te zijn.
79. De kans op verontreiniging door gebruik is klein. Vanuit het verleden zijn echter vaak slootdempingen aanwezig.
80. Er is een kans op de aanwezigheid van macro-verontreinigingen.
81. De kans op (macro) verontreinigingen (en dus ongeschikt water) is hier relatief groot.
82. De kans op verontreiniging door gebruik is klein. In deze gebieden zijn echter wel vaak slootdempingen aanwezig.
83. Eerst grondwinning vervolgens bovengrondse functie aanleggen. Bij aanwezigheid van waterfunctie zal de bodem onder invloed staan van het water en is de vraag wat de kwaliteit van de bodem is.
84. Afhankelijk van de zettingsgevoeligheid van het gebied is dit een mogelijke ondergrondse functie. In met name reservaten en de ecologische hoofdstructuur worden dit soort functies gemeden. Slechts bij horizontaal boren en kleine zettingen kan deze ondergrondse functie worden toegepast.
85. Vaak al verloren gegaan of gaat verloren bij aanleg.
86. De (onder)grond staat onder invloed van water en kan hierdoor verontreinigd worden. Anderzijds is bij verontreiniging in de bodem het niet wenselijk (gezien de uitloging van de verontreiniging naar het water) om hier een waterfunctie aan toe te kennen.
87. Diepe ondergrondse infrastructuur is in dit soort gebieden goed te combineren.
88. Moet wel rekening worden gehouden met de beïnvloeding van het geohydrologische systeem.
89. Door menselijk gebruik van de ondergrond neemt de kans op gebruik van de bovengrond toe. Ondergrondse verblijfruimte zijn vanuit dat perspectief niet wenselijk in dit soort gebieden.
90. Vaak door het biologische milieu wat in de ondergrond heerst bij oude afvalopslagplaatsen kan de natuur goed gedijen. Ondergrondse opslag van nieuw (chemisch) afval is niet te combineren met deze bovengrondse functies.
91. Kans op verontreinigingen is niet groot, kans op ontstaan van verontreinigingen door functie is ook niet groot.
92. Bodemarchief kan goed bewaard blijven.
93. Bij herinrichting van dergelijke gebieden kunnen grote hoeveelheden grond vrijkomen. Natuurinrichting kan gekoppeld worden aan grondwinning.
94. Moet wel rekening worden gehouden met de beïnvloeding van het geohydrologische systeem.

## **Bijlage 4 Handvaten toetsing ondergronds bouwen**

Ondergronds bouwen is een generieke noemer waaronder vele verschillende soorten (bouw)constructies en infrastructuur vallen. In het algemeen geldt dat in Nederland normen (NEN, Eurocode, e.d.) en richtlijnen (CUR e.d.) van toepassing zijn voor civiele bouwwerken. Deze normen en richtlijnen zijn zondermeer ook toepasbaar en bruikbaar voor ondergrondse bouwwerken. Dit betreft echter constructieve en veiligheidsaspecten van een bouwwerk. Een kenmerk van ondergrondse bouwactiviteiten is dat deze ook een invloed (trillingen, deformaties, etc) hebben in de omgeving. De normen en richtlijnen zijn niet altijd duidelijk met betrekking tot de randvoorwaarden van deze invloed.

Voor het toetsen van ontwerpen van ondergrondse bouwactiviteiten dient dus een onderscheid gemaakt te worden tussen de constructieve aspecten en de omgevingsinvloeden.

Daarnaast zijn er criteria met betrekking tot de ondergrond om de haalbaarheid van ondergrondse bouwactiviteiten te bepalen. Hierbij wordt opgemerkt dat in technische zin veel kan, maar dat in bepaalde gevallen kosten (zeer) hoog kunnen worden.

### **Constructieve aspecten**

De constructieve aspecten dienen getoetst te worden aan de van toepassing verklaarde normen en richtlijnen voor een bepaald project. Een redelijk compleet overzicht van Nederlandse normen en richtlijnen is:

#### Constructieve normen

- NEN 6700, Technische grondslagen voor bouwconstructies - TGB 1990 Algemene basiseisen
- NEN 6702, - TGB 1990 - Belastingen en vervormingen
- NEN 5950, Voorschriften Beton - Technologie (VBT 1998);
- NEN 6720, Voorschriften Beton - Constructieve eisen en rekenmethoden (VBC mei 1997)
- NEN 6722, 1989-03-00, Voorschriften Beton Uitvoering (VBU 1988) (met correctieblad 1989);
- NEN 6740, Geotechniek - TGB 1990 - Basiseisen en Belastingen (mei 1997);
- NEN 6742, Geotechniek - Het uitvoeren van funderingen met geprefabriceerde betonnen palen;
- NEN 6743, Geotechniek, Berekeningsmethode voor funderingen op palen.  
Drukpalen
- NEN 6744, Geotechniek, Berekeningsmethode voor funderingen op staal (mei 1997);

- NEN 6770, Technische grondslagen voor bouwconstructies - TGB 1990 - Staalconstructies - Basiseisen en basisrekenregels voor overwegend statische belaste constructies (mei 1997);
- NEN 6771, Staalconstructies, - Stabiliteit (mei 1997);
- NEN 6772, Staalconstructies, Verbindingen (mei 1997);

### Richtlijnen

- CUR-rapport 56: Onderwaterbeton;
- CUR-rapport 102: Gewapend onderwaterbeton;
- CUR-rapport 77: Rekenregels voor ongewapende onderwaterbetonvloeren
- CUR-rapport 166: Damwandconstructies;
- CUR-rapport 2001-4: Ontwerpregels voor trekpalen
- CUR-rapport 85: Scheurvorming door krimp en temperatuurwisseling in wanden.
- SBR rapporten A1 t/m A3 “Meet en beoordelingsrichtlijn. Schade aan bouwwerken door trillingen, Hinder voor personen in gebouwen, beïnvloeding van werking van apparatuur” SBR Rotterdam 1993

### Omgevingsinvloeden

Voor omgevingsinvloeden moet een onderscheid gemaakt worden in de volgende effecten, getoetst dient te worden of deze onderwerpen tenminste in het ontwerp van de ondergrondse constructie zijn behandeld:

#### 1. *Trillingen.*

Trillingen vinden een oorzaak in de bouwactiviteiten zelf (bijvoorbeeld heien van palen of intrillen van damwanden) en in het gebruik (bijvoorbeeld treinen of machines). Met betrekking tot toelaatbare trillingen voor zowel de constructie als de mensen zijn richtlijnen opgesteld door Stichting Bouwresearch (SBR). Op basis van deze richtlijnen kan een toelaatbaar trillingsniveau worden vastgesteld.

Hierbij wordt opgemerkt dat de vertaling van de trillingsbron naar de invloed op de omgeving nog onderwerp van onderzoek is. Dit bemoeilijkt ook het inhoudelijk toetsen van rapporten en berekeningen.

#### 2. *Deformaties*

Deformaties hebben een oorzaak in de bouwactiviteiten (bijvoorbeeld ontgraven van bouwput of verwijderen damwanden), de wijze van constructie (bijvoorbeeld bouwfaseringsen, sterkte/stijfheid van bouwputwanden) maar ook door een (on)bewuste veranderingen van de grondwaterstand.

De berekende deformaties (horizontaal en verticaal) op bijvoorbeeld een fundering kunnen getoetst worden aan de normen NEN 6743 of NEN 6744. Hierbij wordt opgemerkt dat dit summier richtlijnen zijn. De toelaatbare deformaties zijn sterk afhankelijk van de staat van onderhoud, type gebouw en funderingswijze.

### 3. *Grondwater*

Een ondergrondse constructie kan gevolgen voor de waterhuishouding hebben.

Getoetst dient te worden of de volgende effecten acceptabel zijn:

- locale verstoring van grondwaterstromingspatroon;
- vermenging van zoet en zout grondwater kan optreden (gebieden met een diepe zoet-zout grensvlak);
- grondwaterkwaliteit;
- werk met werk maken door ondergronds bouwen te combineren met bijvoorbeeld de aanpak van ernstige, mobiele verontreinigingen

#### **Haalbaarheid**

De haalbaarheid of kostenniveau van ondergronds bouwen wordt grotendeels bepaald door de geologisch bodemopbouw en de toelaatbare invloed op de omgeving. In het algemeen worden, met uitzondering van geboorde tunnel, bouwputten gebruikt voor ondergronds bouwen. Met betrekking tot de geologische bodemopbouw kan worden gesteld dat wanneer afsluitende kleilagen van voldoende dikte en op de juiste diepte voorkomen het kostenniveau van een bouwput lager ligt dan wanneer een afsluitende laag (bijvoorbeeld onderwaterbeton) moet worden gemaakt. Om het kostenniveau goed in te schatten is dus een gedegen grondonderzoek een belangrijke randvoorwaarde.





## Bijlage 5 Aansluiting matrices bij schaduwplannen

### Alphen-Bodegraven

#### *Ad 1 Welke kaarten en welke informatie was al aanwezig?*

In Alphen-Bodegraven waren verschillende kaarten aanwezig (tabel 7.1). Daarnaast waren er verschillende informatiebronnen aanwezig in de vorm van beleidsplannen, studierapporten, ontwikkelingsvisies zoals het voorontwerp bestemmingsplan buitengebied, waterstudies en de Inventarisatiestudie Oude Rijnzone.

- De meeste kaartinformatie is, vanwege de regionale opzet, geschikt voor uitspraken op regionale schaal, en minder geschikt voor subregionale schaal.
- Veel kaartinformatie over ondergrond is ruwe basisinformatie: aanbodgericht, soms gedateerd, lastig te actualiseren, voor ruimtelijke ordenaars weinig aansprekend.
- Voor andere vormen dan ondergronds bouwen is de informatie beperkt. Over duurzaamheid en energiebeleid, benutten van koude/warmte opslag, archeologie en gietwater (etc) is nagenoeg geen informatie aanwezig.
- Zuid-Holland had voor de diverse ondergrondse toepassingen door TNO-NITG bodemgeschiktheidskaarten laten maken. Deze kaarten konden direct worden gebruikt op het schaalniveau van Alphen-Bodegraven.

#### *Ad 2 Welk type informatie is gedurende het schaduwplan vergaard?*

De ruwe basisinformatie over geschiktheden en waarden van ondergrond was redelijk compleet. Sommige gegevens moesten wat geactualiseerd worden of aangepast m.b.t. nauwkeurigheid e.d.

Nieuwe informatie werd niet zozeer vergaard, maar ontstond door het zoeken naar de “vertaling” van basisinformatie naar kansen voor ruimtelijke ontwikkeling (functieveranderingen, functiecombinaties, functieaanpassingen).

Omdat de resultaten in kaartbeelden moesten worden vastgelegd, is vooral vanuit de functies geredeneerd. Ook zijn de kansenkaarten ontwikkeld (tabel 7.1).

Tabel Kaartinformatie als onderdeel van analyse omgevingsinformatie (29 nov 2001).

Gebruikt in analysefase tot 29 november 2001	Na 29 nov gebruikte digitale kaarten 2001
<b>Bodem</b>	
Bodemkaart Stiboka (Alterra)	
Klei en veenkaart (eerste 8m onder maaiveld)	
Ondergrondse koude/warmteopslag en (giet)wateropslag	Bodemkwaliteitskaart en bodemverontreinigingen, slootdempingen
Grofzandvoorkomen	
Proefkaart Ondergronds bouwen (bouwput 10m)	Bodemkansenkaart Ondergronds Bouwen (bouwputten 10m en 6m)
Indicatieve Kaart Archeologische Waarden	Archeologische monumenten kaart Aardkundige waardenkaart
<b>Water</b>	
Watersysteeminformatie-kaart	kwel- en infiltratiegebieden, drooglegging
Bergingslocaties, duurzaam waterbeheer Reeuwijk	Ontwikkeling Natte As-verbindingen watergangen tbv recreatieve routes
<b>Natuur</b>	
Ecologische Hoofdstructuur en Verbindingszones	
Natuurdoeltypenkaart	
<b>Landschap</b>	
Landschapstypen	Cultuurhistorische Hoofdstructuur
<b>Infra</b>	
kabels en leidingen	
Lijninfrastructuur, geplande wegen en OV-verbindingen, locatie Container-terminal	
<b>Wonen en werken</b>	
Bebouwing en CBS Grondgebruik	luchtfoto's bebouwing 2000
Bedrijvigheid	

## Ad 3 Welke ondergrondse functies waren voorzien?

Van begin af aan werd voorzien in:

- Ondergronds bouwen in verband met wens tot intensivering van de woon- en werkfunctie.
- Ondergrondse wateropslag in verband met de watervraag voor boomteelt in de omgeving van Alphen-Bodegraven.
- Ondergrondse energieopslag in verband met duurzame rode ontwikkeling (wonen en werken) in de transformatiezone.

Uitgaande van de geschiktheden van de ondergrond voor bovengronds bouwen en de impact op grondwatersystemen en archeologische waarden door ondergronds ruimtegebruik is ook rekening gehouden met de drager- en archieffunctie van de ondergrond.

*Ad 4 Zijn gedurende BAGEO nieuwe alternatieven en mogelijke ondergrondse functies boven tafel gekomen?*

Omdat tijdens de studie, mede door de bodemgeschiktheidskaarten, reeds voldoende vroeg de functies in beeld waren gebracht, werden er niet zozeer nieuwe alternatieven als wel varianten op het eigenlijke plan gevonden. Deze varianten bestonden vooral uit combinaties bij bovengronds bouwen. Zo werd bijvoorbeeld duidelijk wat de mogelijkheden zijn voor ‘dun-duur’-wonen buiten de transformatiezone en wanneer meer “*met de ondergrond*” wordt ontworpen. (Ontwikkelingsvisie in Kwadijk en Ypma, 2002)

*Ad 5 Hoe heeft afweging plaats gevonden en welke criteria zijn gebruikt?*

Geredeneerd vanuit de ruimtelijke functies (ruimtelijke randvoorwaarden) en de sociaal-economische haalbaarheid zijn, met toepassing van (ecologische) duurzaamheidscriteria, de verschillende ontwikkelingsmogelijkheden in beeld gebracht. Vanuit de ondergrond zijn variaties in de zin van “duurzame combinaties” opgesteld. De duurzaamheidscriteria waren overigens eerder in de systematiek van DSO opgesteld. Daarbij zijn bodem en water geïntegreerd.

*Ad 6 In hoeverre komt de gevolgde werkwijze overeen met het afwegingskader zoals ontwikkeld in BAGEO?*

De gevolgde werkwijze en het BAGEO-afwegingskader komen redelijk goed overeen:

- Vroegtijdige inbreng van informatie over de ondergrond in het planproces
- Bijdrage aan het “*ontwerpen met de ondergrond*”
- Vaststelling eisen en randvoorwaarden vanuit duurzaamheidsprincipes voor ontwerp en inrichting
- Continu onderzoek vanuit de ondergrond naar alternatieve combinaties

In dit schaduwplan is gebleken hoe belangrijk overleg en samenwerking tussen “*bodem*” en RO eigenlijk zijn. Dit kreeg gaandeweg het project meer vorm. Het toont dat dit zoekproces onderdeel moet zijn van BAGEO, met zowel de nadruk op pro-actief als interactief.

BAGEO moet de ruimtelijke ordening faciliteren, en daarbij oplossingsgericht en concreet zijn: wat biedt het ondergronds ruimtegebruik aan meerwaarde voor de ruimtelijke opgave(n)?

*Ad 7 Op welke punten verschilt de gevolgde werkwijze van het afwegingskader zoals ontwikkeld in BAGEO?*

Het schaduwplan was meer toegespitst op de specifieke casus en dus maatwerk, terwijl de werkwijze BAGEO algemener is. De gevolgde werkwijze is echter goed vergelijkbaar.

## **Rotterdam CS**

*Ad 1 Welke kaarten en welke informatie was al aanwezig?*

- Topografische kaart van het plan- en studiegebied
- Masterplan Rotterdam Centraal
- Bodemkwaliteitskaart Rotterdam Centraal o.b.v. historisch onderzoek en bestaande bodemonderzoeken (Bodem Informatie Systeem, BIS)
- Geologische kaart van een dwarsdoorsnede van het plangebied met informatie over de bodemopbouw tot en met het eerste watervoerend pakket
- Een grondwaterstromingsmodel van het plangebied

*Ad 2 Welk type informatie is gedurende het schaduwplan vergaard (bv nieuwe kaarten)?*

- Afgeleide bodemkwaliteitskaart
- Kaart grondwaterkwaliteit 0-5 m onder maaiveld
- Kaart grondwaterkwaliteit > 5m onder maaiveld
- Kaart verspreidingsrisico grondwaterverontreinigingen
- Kaart Ontwateringsdiepte in meters
- Kaart Freatische grondwaterspiegel in m t.o.v. NAP
- Kaart zoet-zout grensvlak van het grondwater in m t.o.v. NAP
- Kaart effectieve horizontale stroming 1<sup>e</sup> watervoerend pakket in m/jaar
- Kaart effectieve horizontale stroming 2<sup>e</sup> watervoerend pakket in m/jaar
- Kaart inrijgingsflux tussen antropogeen en 1<sup>e</sup> watervoerend pakket in m/dag
- Kaart bouwputdiepte waarbij net geen opbarsting optreedt vanuit 1<sup>e</sup> watervoerend pakket in meter t.o.v. maaiveld
- Kaart met aardkundige waarden
- Kaart met opties warmte/koude opslag en winning van aardwarmte
- Bodemgeschiktheidskaart Rotterdam Centraal
- Kaart met bovengrondse zoekruimtes per functie
- Bodemwensenkaart Rotterdam Centraal
- Schaduwplan
- Afwegingscriteria ondergronds ruimtegebruik o.b.v. interviews sleutelfiguren in Rotterdamse projecten
- Notitie geohydrologische afwegingscriteria voor ondergrondse functies
- Notitie uitvoeringsmethoden bouwputten Randstad Rail

- Beoordelingsnotitie m.e.r. Randstad Rail
- Notitie opties wateropslag Rotterdam Centraal
- Notitie opties warmte/koude opslag en winning van aardwarmte Rotterdam Centraal

*Ad 3 Welke ondergrondse functies waren voorzien?*

- Randstad Rail –2m maaiveld
- Ondergrondse passage –1m maaiveld
- Ondergrondse parkeergarages

*Ad 4 Zijn gedurende BAGEO nieuwe alternatieven en mogelijke ondergrondse functies boven tafel gekomen?*

- Ondergrondse bedrijfsruimtes in combinatie met gestapelde bouw
- Winkels op verlaagd maaiveldniveau
- Bepaalde vormen van urban entertainment
- Verkeerstunnel
- Opslag van water en energie in de bodem
- Bescherming van aardkundige waarden (geulen/donken)

*Ad 5 Hoe heeft afweging plaats gevonden en welke criteria zijn gebruikt?*

Doorslaggevende criteria zijn:

- Diepteligging/baanconcepten/bouwmethoden per functie
  - Ligging funderingen, kabels en leidingen
  - Ontwateringsdiepte
  - Opbarstingsrisico 1<sup>e</sup> watervoerende pakket
  - Stroomsnelheid 1<sup>e</sup> en 2<sup>e</sup> w.v.p.
  - Ligging geulen/donken
  - Ligging/verspreidingsrisico ernstige/diepe/mobiele bodemverontreinigingen
- Ook zijn de kosten die samenhangen met bovenstaande criteria doorslaggevend.

Op dit schaalniveau en voor dit specifieke gebied zijn kwel/inzijging, stromingsrichting, bodemopbouw en zettingsgevoeligheid geen ruimtelijk differentiërende en dus relevante variabelen.

*Ad 6 In hoeverre komt de gevolgde werkwijze overeen met het afwegingskader zoals ontwikkeld in BAGEO?*

Het volgt stappen 1, 2 en 3 van het BAGEO stappenplan.

*Ad 7 Op welke punten verschilt de gevolgde werkwijze van het afwegingskader zoals ontwikkeld in BAGEO?*

Het wijkt daar niet van af.