

# Technische potentieelstudie diepe ondergrond Noord-Nederland

## Definitief eindrapport

Oprachtgever	SNN Werkgroep "Beleidsvisie diepe ondergrond" p/a Provincie Drenthe Postbus 122 9400 AC ASSEN T 0592 - 36 55 55 Leden werkgroep: de heer E. Bregman (voorzitter) de heer D.I. de Vries de heer A. Hahn de heer A.J. van Harten
Adviseur en penvoerder	IF Technology bv Velperweg 37 Postbus 605 6800 AP ARNHEM T 026 - 35 35 555 F 026 - 35 35 599 E info@iftechnology.nl Contactpersonen: de heer M.M. van Aarssen de heer A. Willemsen de heer R. Wierikx
Adviseur geo-informatie	TNO Bouw en Ondergrond Postbus 80015 3508 TA UTRECHT T 030 - 256 42 56 F 030 - 256 44 75 E info-BenO@tno.nl Contactpersonen: de heer L. Kramers de heer S.F. van Gessel

# Inhoudsopgave

1	Inleiding .....	3
1.1	Kader .....	3
1.2	Plan van aanpak .....	4
2	Technische analyse.....	6
2.1	Inleiding .....	6
2.2	Winning .....	7
2.2.1	Gaswinning.....	7
2.2.2	Oliewinning.....	9
2.2.3	Zoutwinning uit diapieren .....	11
2.2.4	Warmtewinning met Geothermie.....	14
2.2.5	Elektriciteitswinning met Geothermie .....	16
2.3	Opslag .....	19
2.3.1	Gasopslag in lege gasvelden .....	19
2.3.2	Gasopslag in cavernes.....	24
2.3.3	Persluchtopslag in cavernes .....	26
2.3.4	CO <sub>2</sub> -opslag in lege gasvelden.....	27
2.4	Verwijdering van afvalstoffen in cavernes.....	32
3	Functiecombinaties/-conflicten .....	34
3.1	Inleiding .....	34
3.2	Laag 1: Zechstein Groep.....	36
3.3	Laag 2: Rijnland Groep .....	37
3.4	Laag 3: Hoofd-Bontzandsteen Groep .....	38
3.5	Laag 4: Boven-Rotliegend Groep.....	39
3.6	Laag 5: Overige members.....	40
4	Technische conclusies en aanbevelingen.....	42
4.1	Inleiding .....	42
4.2	Technische conclusies .....	42
4.3	Aanbevelingen.....	44

## Bijlagen:

1	Verklarende woordenlijst
2	Geologische tijdschaal
3	Verslag werkatelier
4	Potentieelkaarten diepe ondergrond
5	Synergiekaarten diepe ondergrond

# 1 Inleiding

## 1.1 Kader

Het Samenwerkingsverband Noord-Nederland (SNN) heeft op 8 oktober 2007 samen met een aantal andere partners (ministerie van VROM, ministerie van EZ, provincie Noord-Holland) het Energie akkoord gesloten. In het Energie akkoord staan voor de vier Energy Valley provincies verschillende beleidsopgaven geformuleerd waarop de provincies een gezamenlijke inspanning plegen met het rijk en andere betrokken partijen<sup>1</sup>. Als uitwerking van dit Energie akkoord heeft het dagelijks bestuur van het SNN op 18 december 2007 een werkstructuur vastgesteld. Hierin staat voor verschillende thema's beschreven welke provincie hiervan primair de trekker is. Eén van de opdrachten die in dat kader is geformuleerd betreft het opstellen van een **Beleidsvisie diepe ondergrond Noord-Nederland**, waarbij Drenthe als trekker is aangewezen. In deze visie wordt een inventarisatie gemaakt van de kansen en mogelijkheden die de diepe ondergrond biedt. Globaal genomen gaat het hierbij om activiteiten dieper dan 400 meter onder het maaiveld. Aan de hand hiervan wordt een beleidskader ontwikkeld ten behoeve van een versnelling en optimalisering van het gebruik van de (diepe) ondergrond voor -met name- energie doeleinden.

De opdracht was om te onderzoeken welke (verdere) mogelijkheden de diepe ondergrond van het SNN gebied heeft voor de winning van olie, zout en gas, afvalopslag zoals gips en boorspoeling, opslag van gecompriëerde lucht, het winnen van aardwarmte (geothermie), opslag van CO<sub>2</sub> en (aard)gas.



Er is een werkgroep ingesteld onder leiding van dhr. E. Bregman (Dr). In de werkgroep zitten verder de heren D. de Vries (Gr.), A. Hahn (Frl.) en A.J. van Harten (Dr.). De werkgroep heeft een projectopdracht geformuleerd op basis van waarvan IF Technology te Arnhem in samenwerking met TNO het onderzoek is gestart, waarin de volgende vragen zijn beantwoord:

1. Hoe ziet de (diepe) bodem in Noord-Nederland eruit?
2. Wat zijn de gebruiksmogelijkheden?
3. Welke keuzes zijn nodig?

<sup>1</sup> Citaat jaarrapportage 2007-2008, finaal concept 8 oktober 2008.

Bijgaand rapport is het eindrapport van IF Technology. Over de gebruiksfuncties, die in dit rapport zijn uitgewerkt, is nog geen overleg gevoerd met marktpartijen en andere overheden (gemeenten, waterschappen en departementen). Het rapport geeft indicaties wat waar (technisch) mogelijk is. Over de politiek-bestuurlijke wenselijkheid van de genoemde gebruiksfuncties is nog geen standpunt ingenomen.

De bevindingen van IF Technology zijn gepresenteerd in een werkatelier, waarvoor de diverse disciplines van de betrokken provincie waren uitgenodigd (Ruimtelijke Ordening, Water, Landelijk Gebied, vergunningverlening). Tijdens dit werkatelier, gehouden op 25 september 2008, heeft Gedeputeerde R. Slager (Gr.) opgeroepen zoveel mogelijk als provincies samen te op te pakken. Zo kan men elkaar helpen bij problemen en klankborden waar nodig.

Tenslotte moet worden vermeld dat bij het uitwerken van de mogelijkheden een nadere trechtering moet plaatsvinden waarbij onder andere rekening gehouden moet worden met locatie specifieke aspecten en het gebruik van de bovengrond.

Het vervolgproces ziet er als volgt uit:

1. Het definitieve eindrapport wordt door de drie provincies voorzien van een beleidsmatige oplegnotitie;
2. Deze notitie wordt via de Gedeputeerde Staten van de drie provincies aangeboden aan het Dagelijks Bestuur van SNN.

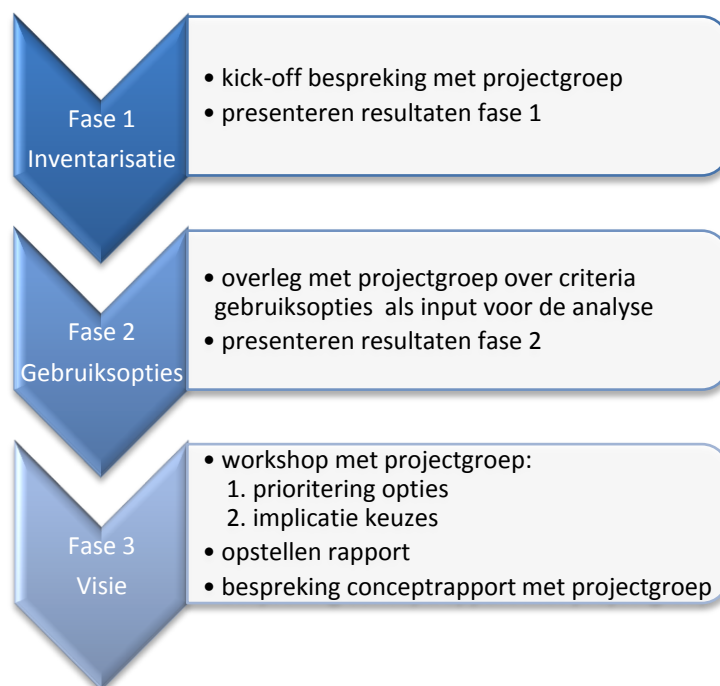
Werkgroep **Beleidsvisie diepe ondergrond Noord-Nederland**  
15 oktober 2008

## 1.2 Plan van aanpak

Om te komen tot een analyse van het duurzaam gebruik van de diepe ondergrond zijn drie fases doorlopen. In fase 1 zijn de technische eigenschappen van de ondergrond geïnterpreteerd op basis van beschikbare informatie. In fase 2 zijn per functie de gebruiksmogelijkheden hieraan gekoppeld en zijn de kansen per gebruiksoptie op een kaart gezet. De resultaten hiervan worden gepresenteerd in hoofdstuk 2.

In fase 3 zijn de mogelijke combinaties en conflicten via synergiekaarten inzichtelijk gemaakt. Deze zijn vervolgens gepresenteerd in een werkatelier waarvoor de diverse disciplines van de betrokken provincies waren uitgenodigd (Ruimtelijke Ordening, Water, Landelijk Gebied, vergunningverlening). Tijdens dit werkatelier, gehouden op 25 september 2008, heeft Gedeputeerde R. Slager van provincie Groningen opgeroepen zoveel mogelijk als noordelijke provincies samen op te pakken. Zo kan men elkaar helpen bij problemen en klankborden waar nodig.

Als afronding van fase 3 den op basis van de sche analyse en het werkate- lier een aantal technische conclusies getrokken en worden enkele aanbevelingen gedaan voor het vervolg. Op basis van deze aanbevelingen kan een vertaling worden gemaakt in bestuurlijke en politieke randvoorwaarden die op deze manier in het beleid verankerd kunnen worden. Deze laatste stap zal door de werkgroep verder vorm gegeven worden, mee in overleg met SNN. Het plan van aanpak is schematisch in nevenstaande figuur weergegeven.



#### **Disclaimer onderzoek**

Het doel van dit onderzoek is om op hoofdlijnen de mogelijkheden van de diepe ondergrond in beeld te brengen. Daarbij is gefocust op een technische analyse waarmee de verschillende gebruiksopties naast elkaar gezet en gewogen kunnen worden. Het is hierbij nadrukkelijk niet de bedoeling dat de beschikbaar gekomen informatie en kaarten op projectniveau gebruikt worden voor het onderzoeken van de haalbaarheid. Dit zal specifiek per locatie moeten worden onderzocht.

## 2 Technische analyse

### 2.1 Inleiding

Dit hoofdstuk beschrijft de technische mogelijkheden van het gebruik van de diepe ondergrond voor verschillende gebruikersfuncties. Tabel 2.1 geeft een overzicht van deze functies, waarbij een onderverdeling is gemaakt tussen winning, opslag van stoffen en verwijdering van afvalstoffen<sup>2</sup>. De tabel geeft tevens een tijdsindicatie voor het moment waarop de gebruikersfuncties technisch mogelijk/rendabel worden. Hiervoor geldt de opmerking dat deze tijdsbepaling is vastgesteld op basis van de huidige inzichten en sterk afhankelijk is van bijvoorbeeld de ontwikkeling van olie- en gasprijzen.

Tabel 2.1 Gebruikersfuncties diepe ondergrond<sup>2</sup>

	<b>winning</b>	<b>opslag</b>	<b>verwijdering</b>
<b>heden</b>	<i>gas zout</i>	<i>gas</i>	<i>vloeibare afvalstoffen uit olie-, gas en zoutwinning</i>
<b>na 2015</b>	<i>aardwarmte olie elektriciteit</i>	<i>gas perslucht CO<sub>2</sub> warmte stikstof</i>	
<b>na 2030</b>		<i>chemicaliën olie/ LNG</i>	<i>vaste afvalstoffen (afval, gevaarlijk- en kern afval)</i>

#### Leeswijzer

De belangrijkste gebruikersfuncties (cursief opgenomen in tabel 2.1) zijn in de volgende paragrafen nader uitgewerkt. De verwijdering van vaste afvalstoffen is op basis van het vigerende beleid buiten beschouwing gelaten. Technisch zijn zoutcavernes weliswaar geschikt voor verwijdering van vaste afvalstoffen, echter conform het vigerende beleid in het kader van het LAP (Landelijk Afvalbeheer Plan) is storten niet toegestaan, ondermeer omdat vaste afvalstoffen niet terugneembaar zijn uit de cavernes (zie paragraaf 2.4).

Naast een korte uitleg van de techniek worden de toepassingsmogelijkheden van de desbetreffende gebruikersfunctie gepresenteerd in een potentieelkaart. De toelichting bij de kaart gaat nader in op de bepaling van het technisch potentieel van de ondergrond. Hierbij zijn tevens de mogelijke technische aandachtspunten in kaart gebracht. Tenslotte worden de bovengrondse (technische) factoren benoemd die een rol spelen bij het vaststellen van de meest kansrijke toepassingslocaties.

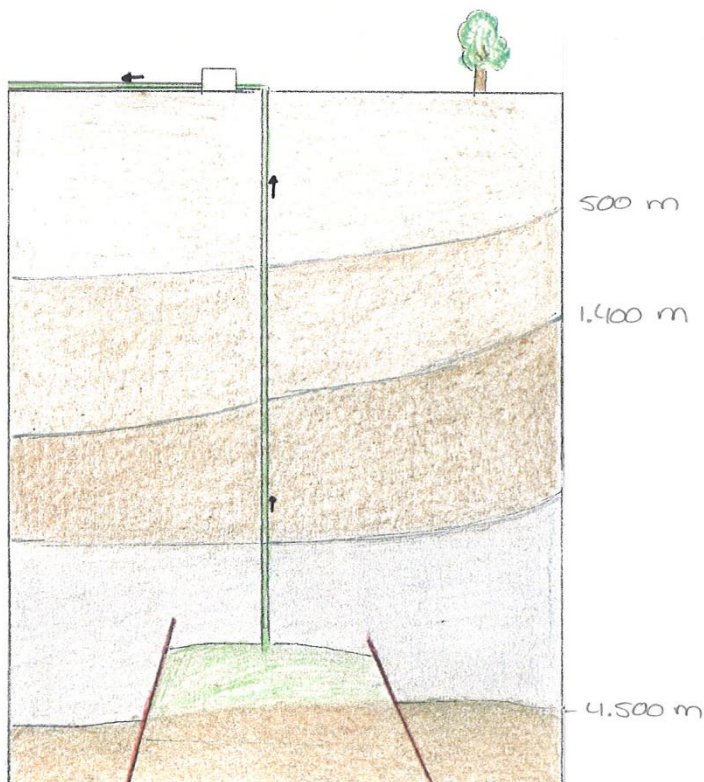
<sup>2</sup> winning = het onttrekken van stoffen uit de ondergrond;  
opslag = het tijdelijk in de ondergrond brengen van stoffen met de intentie van terugneembaarheid  
verwijdering = het opslaan (terugneembaar), of bergen (niet terugneembaar), injecteren of storten van (afval)stoffen in de diepe ondergrond.

## 2.2 Winning

### 2.2.1 Gaswinning

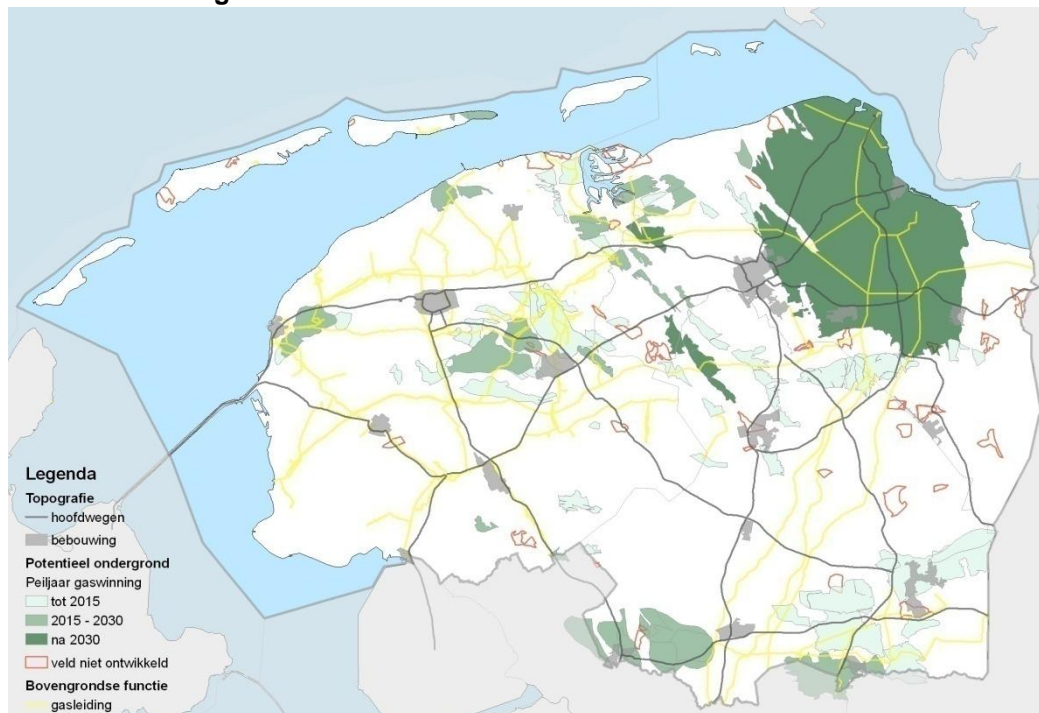
#### Beschrijving techniek

Gas en olie ontstaan uit organisch materiaal dat onder hoge druk en temperatuur wordt omgevormd. Door de lagere dichtheid dan het aanwezige water stijgt het omhoog door de bovenliggende lagen. Gas en olie verzamelen zich als het niet verder kan stijgen doordat een laag ondoordringbaar is. Op die locatie kan het dan aangeboord worden en kan het gas en of de olie gewonnen worden (zie figuur 2.1).



Figuur 2.1 Principe gaswinning

#### Potentieel ondergrond



Figuur 2.2 Potentieelkaart gaswinning

In de provincies Drenthe, Groningen en Fryslân bevinden zich een groot aantal gasvelden. Veel van deze velden zijn reeds ontwikkeld en produceren gas, maar er komen ook nog onontwikkelde velden voor. De informatie met betrekking tot de reserves die zich in een gasveld bevinden is niet openbaar. Om toch een inschatting te maken van de reserves per gasveld, is in dit onderzoek gebruik gemaakt van het totale volume van de gasvelden in Nederland. Dit volume is wel bekend. Het totale reserve-volume per 1 januari 2008 is verdeeld over de verschillende gasvelden aan de hand van hun oppervlakte. Op deze manier is geen rekening gehouden met de eigenschappen en de dikte van het reservoir. Hierdoor kan het gasvolume van de velden met een groot oppervlak, maar met een geringe dikte, overschat worden. Andersom kan het volume van kleine velden met een grotere dikte onderschat worden. Deze wijze van berekening brengt dus een relatief grote onzekerheid met zich mee. Voor dit onderzoek is deze aanpak voldoende.

De verschillende kaarten geven het verwachte moment aan waarop de gasvelden geen produceerbaar gas bevatten (peiljaren). Dit moment hangt deels af van veranderingen in druk, maar ook van economische omstandigheden. Bij hogere gasprijzen zal langer produceren sneller economisch aantrekkelijker zijn. De peiljaren die hier gebruikt worden zijn gebaseerd op winningsplannen uit 2003 of 2005 (NLOG-site). Deze zijn onderverdeeld in de volgende klassen, namelijk:

- 2008-2015;
- 2016-2030;
- na 2030.

### **Technische aandachtspunten**

#### *Seismiciteit*

Als gevolg van spanningsveranderingen in de diepe ondergrond door gaswinning, kunnen relatief kleine aardbevingen of bodemtrillingen zich voordoen. In een geïntegreerde studie zijn de zogenaamde “seismische risico’s” van door gaswinning geïnduceerde aardbevingen in kaart gebracht (Wassing et al, 2004). Dit risico is hoger voor de velden Roswinkel, Annerveen en Groningen. Roswinkel heeft een hoger risico door de geologisch bijzondere situatie. Annerveen en Groningen zijn gevoeliger door de aanwezigheid van veenlagen in de ondergrond; deze lagen versterken de trillingen in de bodem. De velden ten zuidoosten van Leeuwarden zijn minder gevoelig.

#### *Bodemdaling*

Door de gaswinning in het noorden van Nederland is de druk in de gasreservoirs afgenomen. Hierdoor zijn de reservoirs iets in elkaar gedrukt en zijn de bovenliggende lagen dieper komen te liggen. Aan het oppervlak is er daardoor sprake van bodemdaling. De bodemdaling is het grootst in het centrum van het Groningenveld, maar ook in andere delen van Noord Nederland is sprake van significante daling (NAM 2005). Aangezien bodemdaling buiten de focus valt van dit onderzoek is dit in de technische analyse niet meegenomen.

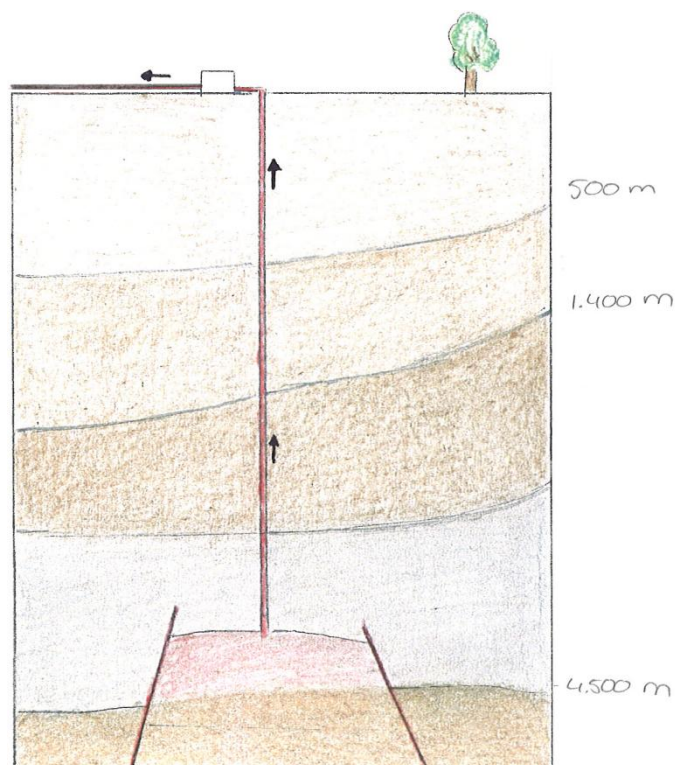
### **Relatie bovengrondse functies**

Bovengronds zijn de huidige gasleidingen weergegeven.

## 2.2.2 Oliewinning

### Beschrijving techniek

Gas en olie ontstaan uit organisch materiaal dat onder hoge druk en temperatuur wordt omgevormd. Door de lagere dichtheid dan het aanwezige water stijgt het omhoog door de bovenliggende lagen. Gas en olie verzamelen zich als het niet verder kan stijgen doordat een laag ondoordringbaar is. Op die locatie kan het dan aangeboord worden en kan het gas en/of de olie gewonnen worden.



Figuur 2.3 Principe oliewinning

### Potentieel ondergrond



Figuur 2.4 Potentieelkaart oliewinning

In de drie noordelijke provincies komt op enkele locaties olie voor. Het grootste deel daarvan is gelegen in het Schoonebeek-veld in Zuidoost Drenthe. In Groningen komen ook nog enkele olievelden voor. Deze velden zijn momenteel niet in productie, maar het Schoonebeek veld wordt in 2010 weer in productie genomen. Het peiljaar voor deze oliewinning ligt op 2035.

Voor de olie-inhoud geldt dat de volumes per veld niet openbaar zijn. Om toch een inschatting te maken van het potentieel, is het totale reservevolume van Nederland gebruikt. Het totale reservevolume per 1 januari 2008 is verdeeld over de verschillende olievelden aan de hand van hun oppervlakte. Ook hier is geen rekening gehouden met de eigenschappen en de dikte van het reservoir. Net zoals bij gaswinning is dit detailniveau voldoende voor dit onderzoek.

De verschillende kaarten geven het verwachte moment aan waarop de olievelden geen produceerbare olie meer bevatten. Dit moment hangt deels af van veranderingen in druk en de economische omstandigheden. Een voorbeeld hiervan is het opnieuw in productie nemen van het Schoonebeek olieveld nu blijkt dat het winnen van deze olie weer economisch aantrekkelijk is geworden door de hoge olieprijs. De peiljaren die gebruikt worden zijn gebaseerd op winningsplannen uit 2003 of 2005 (NLOG-site). Deze zijn onderverdeeld in de volgende klassen, namelijk:

- 2008-2015;
- 2016-2030;
- na 2030.

### **Technische aandachtspunten**

#### *Seismiciteit*

De olievelden in de drie provincies liggen geen van allen in seismisch gevoelige gebieden (Wassing et al, 2004).

#### *Bodemdaling*

Bij oliewinning is er sprake van drukvermindering in het reservoir waardoor aan het oppervlak bodemdaling op kan treden. Dit is verder buiten beschouwing gelaten.

### **Relatie bovengrondse functies**

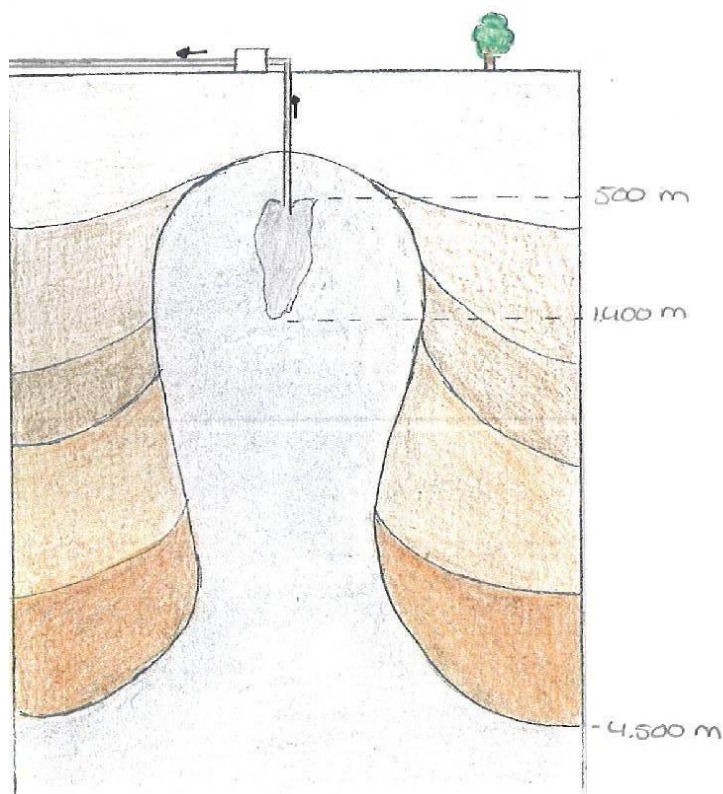
In verband met het transport zijn olieleidingen van belang. Voor deze studie ontbreekt deze informatie.

### 2.2.3 Zoutwinning uit diapieren

#### Beschrijving techniek

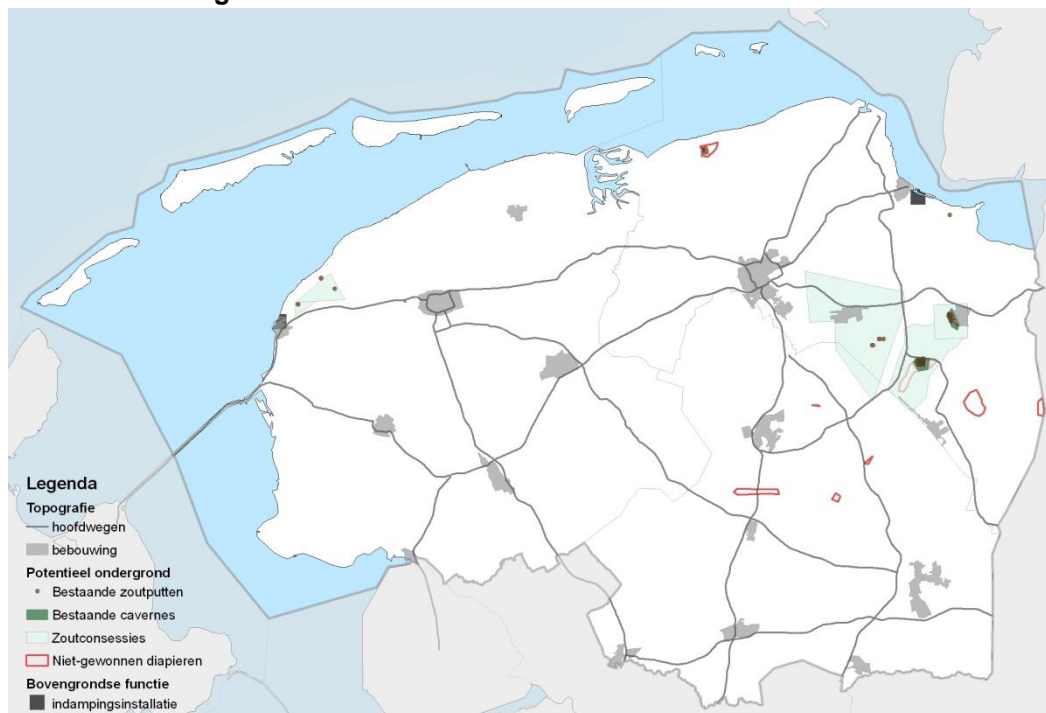
Zoutwinning vindt in Noord-Nederland plaats in de zoutlagen uit het Zechstein. Hierin wordt een put geboord met twee buizen. Door de buitenste buis wordt water het zout in gepompt. Een deel van het zout lost op totdat het water verzadigd is, dit wordt ook wel pekkel genoemd. Dit zoute water is zwaarder en zakt in de caverne naar beneden waarna het wordt opgepompt door de langere binnenbuis. De pekkel wordt dan via leidingen getransporteerd naar de indampingsinstallatie.

Om te zorgen dat de caverne niet te ver naar boven groeit, wordt een dekvloeistof gebruikt. Dit is een vloeistof met een lagere dichtheid dan water waardoor het bovenin de caverne blijft liggen. Hierdoor wordt het zout boven de caverne afgeschermd van het water en kan het niet oplossen.



Figuur 2.5 Principe zoutwinning diapieren

#### Potentieel ondergrond



Figuur 2.6 Potentieel zoutwinning diapieren

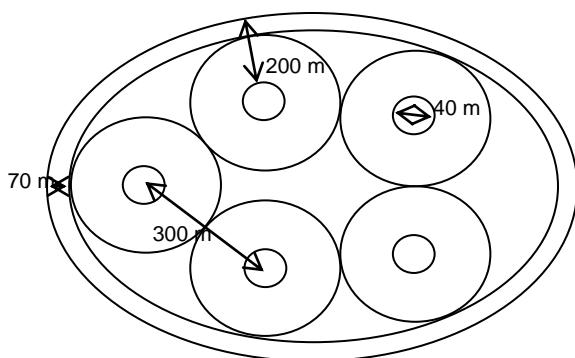
Om de potentie van zoutwinning te bepalen is er o.a. gebruik gemaakt van regionale dikte- en dieptekaarten afkomstig van de TNO karteringafdeling. Tevens zijn de winningsplannen van de huidige zoutwinningen gebruikt (NLOG-site). Ook uit vlak liggend zout, zoals aanwezig in Fryslân, kan zout gewonnen worden. Dit potentieel is echter niet berekend, omdat in dit geval geen cavernes ontstaan die naderhand bruikbaar zijn voor opslag.

Voor het winnen van zout moet volgens het Staatstoezicht op de Mijnen worden voldaan aan een aantal regels;

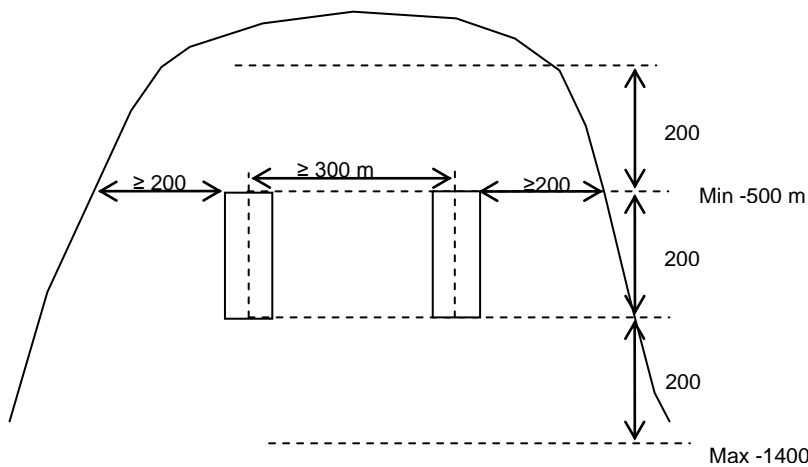
- de maximale diameter van de caverne = 100 m;
- de afstand tussen de middens van de cavernes moet minimaal 300 m zijn;
- de hoogte varieert tussen 200-500 m, afhankelijk van de dikte van het zout;
- tevens geldt dat de afstand van de caverne tot de rand van het zout minimaal 200 m moet zijn.

Bij het bepalen van het potentieel voor winning uit zoutkolommen, de zogenaamde diapieren, is uitgegaan van een gemiddelde diameter van 40 m per caverne, en een maximale hoogte van de caverne van 200 m. De bovenstaande regels in acht genomen, is het minimale oppervlak van een caverne bepaald. Hiermee kan vervolgens het aantal cavernes en hun inhoud berekend worden. Om de uiteindelijke potentie te berekenen is aangenomen dat het zout uit 96 % haliet bestaat met een dichtheid van 2.200 kg/m<sup>3</sup>.

Een voorbeeld hoe een aantal cavernes in een diapier passen inclusief de bovengenoemde criteria is weergegeven in onderstaande figuren.



Figuur 2.7 Boveraanzicht diapier. De cirkels geven de oppervlakte weer die voor een caverne nodig zijn (kleinere cirkels).



Figuur 2.8 Zijaanzicht diapier. De cilindres zijn hierbij de cavernes.

### Technische aandachtspunten

#### *Seismiciteit*

In de afgelopen decennia zijn er geen aanwijzingen geweest dat zoutwinning door middel van oplosmijnbouw bodemtrillingen heeft veroorzaakt. Dit is in overeenstemming met wat men op grond van het kruipgedrag van zout en van de toegepaste winningsmethode zou verwachten. Ook de gegevens over aardbevingen in Nederland van het KNMI laten zien dat er geen geïnduceerde aardbevingen zijn opgetreden door zoutwinning (KNMI 2008).

#### *Bodemdaling*

Bij zoutwinning kan bodemdaling optreden. Deze wordt veroorzaakt door convergentie van de cavernes als gevolg van zoutkruip. Het optreden van zoutkruip als gevolg van de winning van zout is in principe niet te verhinderen. Door het afsluiten van cavernes zal de bodembeweging aan het maaiveld met een factor twee afnemen. Afsluiten van cavernes na beëindiging van de winning zal in de regel plaatsvinden. Gezien de zeer gelijkmatige daling is schade als gevolg van bodembeweging niet te verwachten.

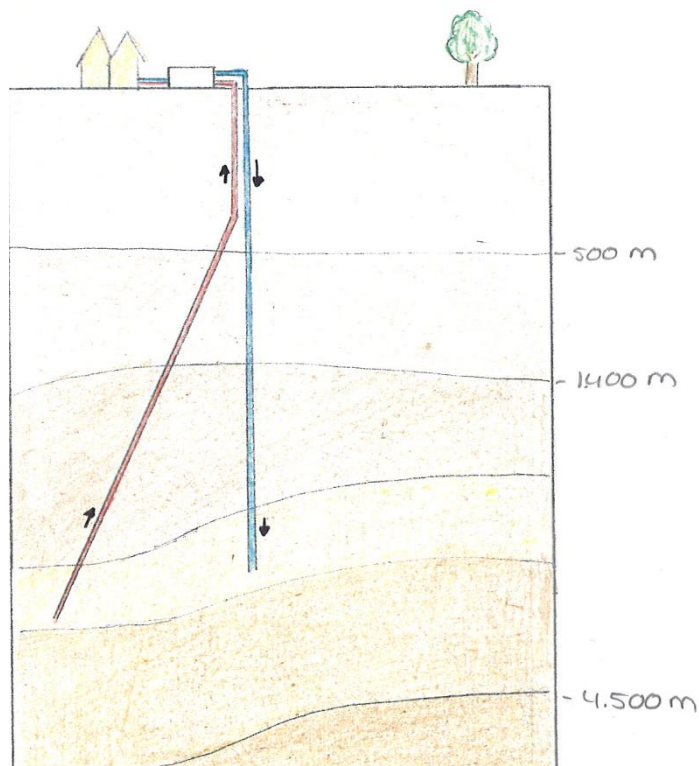
#### **Relatie bovengrondse functie**

Voor het verwerken van het zout zijn de ligging van de indampingsinstallaties (weergegeven op de kaart) en de pekelleidingen van belang.

## 2.2.4 Warmtewinning met Geothermie

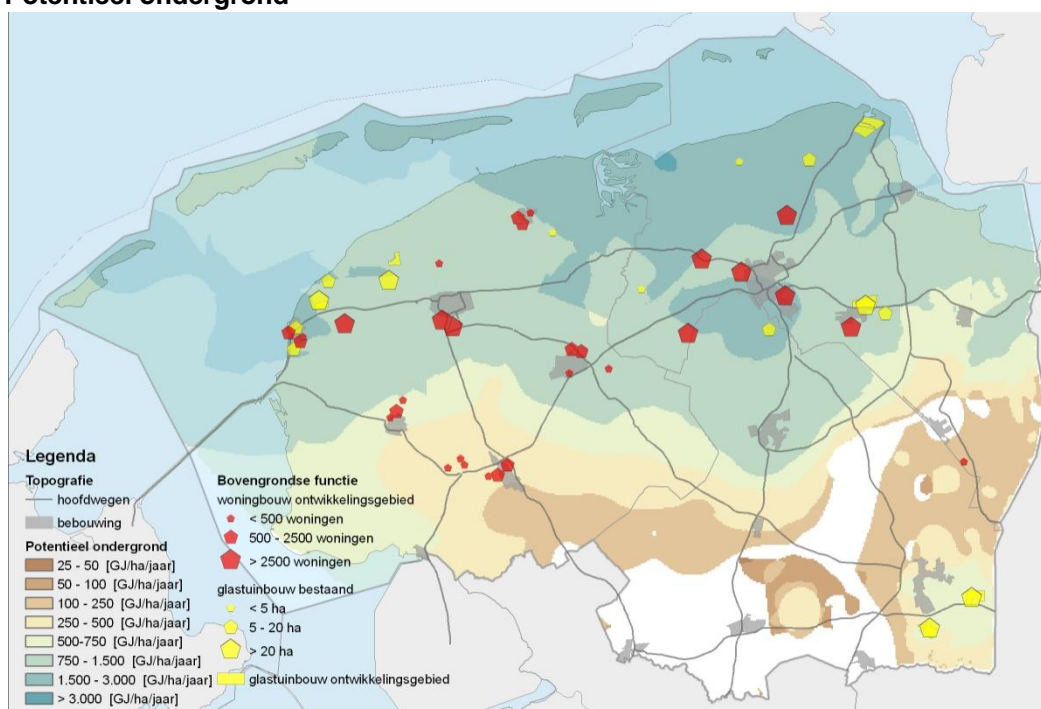
### Beschrijving techniek

Bij geothermie wordt warmte uit diepere aardlagen gebruikt om bebouwing te verwarmen. Deze warmte ontstaat door warmte die vrijkomt bij radioactieve reacties in de kern van de aarde, op een diepte van 5.000 tot 6.500 km. Door de materiaaleigenschappen van de korst neemt de temperatuur met de diepte toe. De korst van de aarde is opgebouwd uit afzettingen (formaties), die bestaan uit verschillende materialen. Sommige formaties zijn doorlatend en bevatten water. Dit water heeft dezelfde temperatuur als het omringende materiaal. Door een put te maken in de doorlatende delen kan dit water onttrokken worden. De warmte kan dan worden gebruikt voor verwarming en het afgekoelde water wordt via een andere put weer geïnfiltrerd in de formatie waar aan het onttrokken is.



Figuur 2.9 Principe geothermie

### Potentieel ondergrond



Figuur 2.10 Potentieel warmtewinning met geothermie

Figuur 2.10 presenteert de potentieelkaart voor warmtewinning met geothermie. Tabel 2.2 geeft een toelichting op de legenda.

Tabel 2.2 Toelichting legenda

legenda eenheid	potentieel
< 50 gj/ha/jaar	laag
50-1500 gj/ha/jaar	gemiddeld
> 1500 gj/ha/jaar	hoog

Op basis van de beschikbare boringen en kennis van de regionale geologie, zijn een aantal lagen geselecteerd die mogelijk geschikte aquifers vormen voor de toepassing van geothermie. De geschiktheid hangt onder andere af van de lithologie, kwaliteit en verbreiding van de lagen. Om de geschiktheid te bepalen is o.a. gebruik gemaakt van de stratigrafische nomenclator (RGD, 1993), welke een beschrijving geeft van de afzonderlijke stratigrafische eenheden, en regionale dikte- en diepte kaarten afkomstig van de TNO karteringafdeling. Locatiespecifieke informatie volgt uit de metingen en beschrijvingen afkomstig van boringen. In bijlage 2 is een geologische tijdsschaal weergegeven. Op basis van de lithologie zijn voor de drie noordelijke provincies de volgende lagen geselecteerd:

- de Vlieland Zandsteen uit de Rijnland Groep;
- de Detfurth, Volpriehausen en Solling zandstenen uit de Hoofd-Bontzandsteen Groep;
- de Slochteren Formatie uit de Boven-Rotliegend Groep.

Voor elk van deze lagen is de potentie berekend aan de hand van de temperatuur, de porositeit- en de dikte kaarten van de desbetreffende formatie met behulp van onderstaande formule. De potentie wordt in de kaarten weergegeven in GJ per hectare per jaar (GJ/ha/jaar) en is volgens onderstaande formule bepaald.

$$Potentie = \frac{1}{3} * [(1 - \varphi)\rho_r c_r + \varphi\rho_w c_w] * (T - 10) * \frac{d}{100}$$

Waar:

$\frac{1}{3}$  = recovery factor

$\varphi$  = effectieve porositeit

$\rho_r c_r$  = volume-gerelateerde warmtecapaciteit van het gesteente

$\rho_w c_w$  = volume-gerelateerde warmtecapaciteit van het water

$T$  = gemiddelde temperatuur van de aquifer

$10$  = referentie temperatuur

$d$  = dikte van de aquifer

$100$  = aantal jaar waarin het potentieel gewonnen wordt.

De recovery factor wordt toegepast omdat niet alle warmte gewonnen kan worden, maar slechts een deel. In deze studie is uitgegaan van  $\frac{1}{3}$ . Een referentietemperatuur van 10 °C is aangehouden omdat dit dan het complete potentieel betreft. Dit potentieel bevat dus ook de reserves.

### Relatie bovengrondse functie

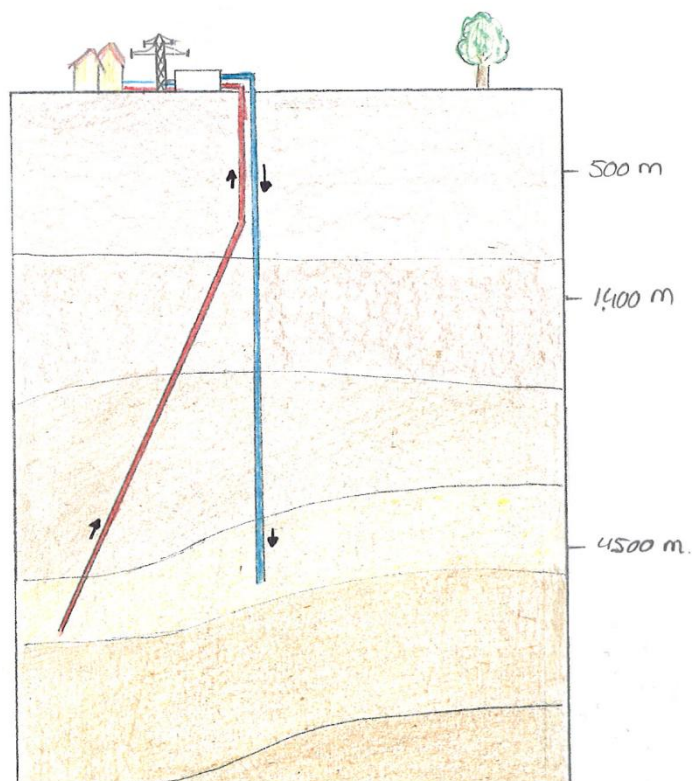
De haalbaarheid van geothermie hangt, naast het ondergrondse deel, ook af van de bovengrondse warmtevraag. Deze warmtevraag is in kaart gebracht door de locaties van de huidige woningbouw, glastuinbouw en bijbehorende ontwikkelingsgebieden op de kaart te projecteren. Bij de woningbouw zijn alleen de gebieden opgenomen met meer dan 100 woningen waarbij minimaal 40 woningen per hectare voorkomen. Bij de glastuinbouw zijn alleen de gebieden opgenomen waarin meer dan 4 hectare glastuinbouw per 2 km<sup>2</sup> voorkomt. Deze gebieden zijn gezien de grootte van de warmtevraag, interessant voor de toepassing van geothermie.

### 2.2.5 Elektriciteitswinning met Geothermie

#### Beschrijving techniek

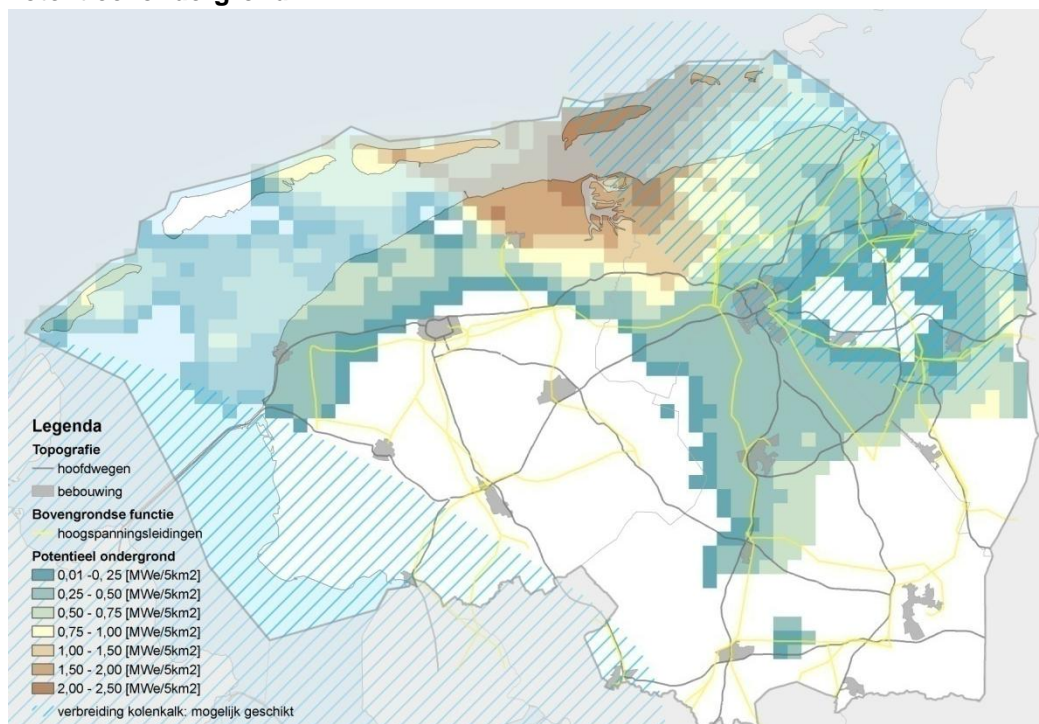
Bij elektriciteitswinning uit geothermie wordt hoge temperatuur warmte uit diepere aardlagen gebruikt. Uit lagen die geschikt zijn voor geothermie kan, indien de temperatuur hoger is dan 100 °C, ook elektriciteit opgewekt worden. Dit kan via een ORC/Kalina proces waarbij warmte wordt omgezet in elektriciteit. Hierbij geldt wel: hoe hoger de temperatuur, hoe groter het elektrisch rendement.

De opzet van de techniek is gelijk aan die van geothermie voor warmtelevering. Verschil is dat met de hogere beschikbare temperatuur eerst elektriciteit wordt opgewekt. De retourtemperatuur uit dit proces is in veel gevallen nog voldoende hoog om ook warmte te leveren aan bebouwing.



Figuur 2.11 Principe elektriciteit uit geothermie

## Potentieel ondergrond



Figuur 2.12 Potentieel elektriciteitswinning met geothermie

Figuur 2.12 presenteert de potentieelkaart voor elektriciteitswinning met geothermie. Tabel 2.3 geeft een toelichting op de legenda.

Tabel 2.3 Toelichting legenda

legenda eenheid	potentieel
< 250 MW <sub>e</sub> /5km <sup>2</sup>	laag
250-1500 MW <sub>e</sub> /5km <sup>2</sup>	gemiddeld
>1500 MW <sub>e</sub> /5km <sup>2</sup>	hoog

Voor het selecteren van de lagen is o.a. gebruik gemaakt van de stratigrafische nomenclator (RGD, 1993), de geologische geschiedenis van het gebied, en regionale dikte- en diepte kaarten afkomstig van de TNO karteringafdeling. Locatiespecifieke informatie van de Slochteren Formatie volgt uit de metingen en beschrijvingen afkomstig van boringen.

Voor het opwekken van elektriciteit komen de volgende lagen in aanmerking;

- de Slochteren Formatie uit het Perm;
- de Kolenkalk Groep uit het Vroeg-Carboon.

Van de Slochteren Formatie is de potentie op dezelfde manier berekend als voor de potentie voor geothermie. De potentie van de Kolenkalk Groep is bepaald aan de hand van de geschatte diepte en dikte van regionale geologische studies (Geluk, 2007). Deze laag is in Noord-Nederland nog niet aangeboord waardoor veel gegevens nog ontbreken.

Aangezien de porositeit in kalksteen normaliter laag is, is een porositeit aangenomen van 7 %. Het potentieel dat geschat is, is een eerste benadering op basis van de gegevens die nu bekend zijn. Verder onderzoek en vergelijking met de producerende gebieden in België en Zuid-Nederland is nodig om een nauwkeurigere schatting te maken.

De potentie van de Slochteren Formatie is op de kaart uitgedrukt in  $MW_e$ . Dit zijn bruto waarden, hier moet het elektrisch vermogen van de pompen nog vanaf getrokken worden. Het thermisch potentieel is bepaald aan de hand van de formule voor geothermie. Dit thermisch potentieel kan omgerekend worden naar  $MW_e$  als een aantal aannames gedaan worden. Dit kan via de volgende formule:

$$P = q * \Delta T * Cp * \frac{\eta}{1000} \quad [MW_e]$$

Waar:

$P$  = het elektrisch vermogen in  $MW_e$

$q$  = debiet ( $m^3/h$ )

$\Delta T$  = temperatuursverschil tussen de injectie en productie put

$Cp$  = Volume warmtecapaciteit

$\eta$  = elektrisch rendement

Het elektrisch rendement kan benaderd worden door een aanname te doen. Daarbij is 10 % van het temperatuurniveau gelijk aan het (bruto) elektrisch rendement. Om het elektrisch potentieel te berekenen voor de Slochteren Formatie is het volgende aangenomen:  $q = 150 m^3/h$ ,  $T_{injectie} = 80 \text{ }^\circ\text{C}$ , en  $C_p = 1,11$ .

Door deze aannames wordt een benadering van het elektrisch potentieel verkregen, hier zit echter een redelijke onzekerheid in. Met name het debiet en rendement zijn sterk afhankelijk van de locatie. Het debiet hangt af van de doorlatendheid van het gesteente, en zal waarschijnlijk niet overal voldoende zijn om een debiet van  $150 m^3/h$  te kunnen onttrekken. Er is echter te weinig informatie om het debiet per locatie vast te stellen. Het rendement hangt af van de temperatuur van de formatie; hoe hoger de temperatuur, hoe hoger het rendement. De aanname voor het rendement welke in deze studie gebruikt wordt, is een benadering. In de kaart worden de elektrische vermogens weergegeven.

Het gebied waarin mogelijk elektriciteit opgewekt kan worden uit de Kolenkalk Groep is aangegeven in de kaart. Vanwege de relatief grote onzekerheid is deze groep niet geclassificeerd, maar is een eerste schatting van het potentieel voor het gehele voorkomen berekend. Hierbij is een dikte aangenomen van 400 m. In totaal bevat de Kolenkalk Groep ongeveer 224 PJ aan thermische energie. Bij een elektrisch rendement van 19 %, gebaseerd op een temperatuurniveau van  $180\text{-}200 \text{ }^\circ\text{C}$ , en één doublet per  $5 \text{ km}^2$ , is dit ongeveer  $2,2 \text{ GW}_e$ . Dit is dus het totale elektrisch vermogen wat de Kolenkalk Groep kan leveren.

### Relatie bovengrondse functie

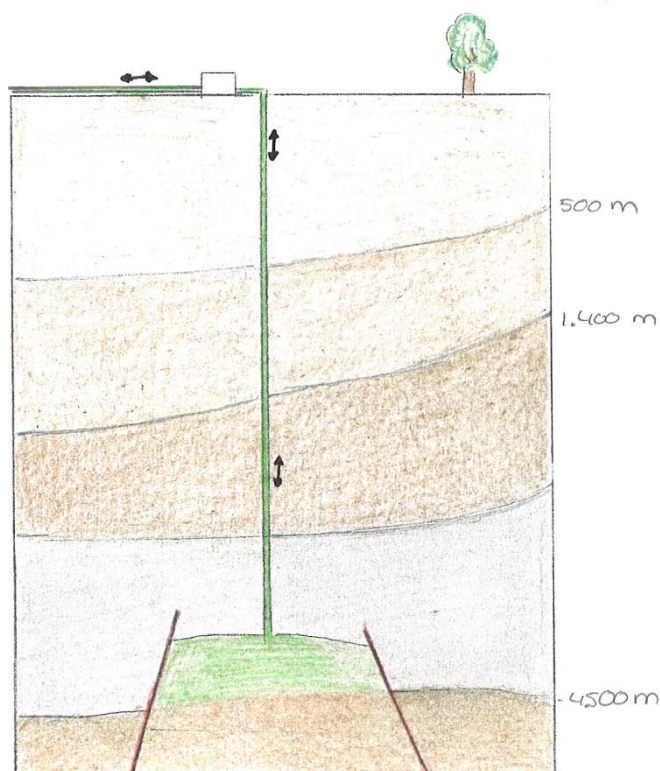
Uit eerdere studies is gebleken dat naast de opwekking van elektriciteit, het ook belangrijk is om de restwarmte af te zetten. Hierdoor kan de elektriciteit tegen een gunstiger tarief opgewekt worden omdat ook de warmte verkocht wordt. Om deze reden zijn de locaties met een grote warmtevraag op de kaart aangegeven. Aangezien het belangrijk is dat de opgewekte elektriciteit ook aan het elektriciteitsnet geleverd wordt, is ook het hoogspanningsnet opgenomen in de kaart.

## 2.3 Opslag

### 2.3.1 Gasopslag in lege gasvelden

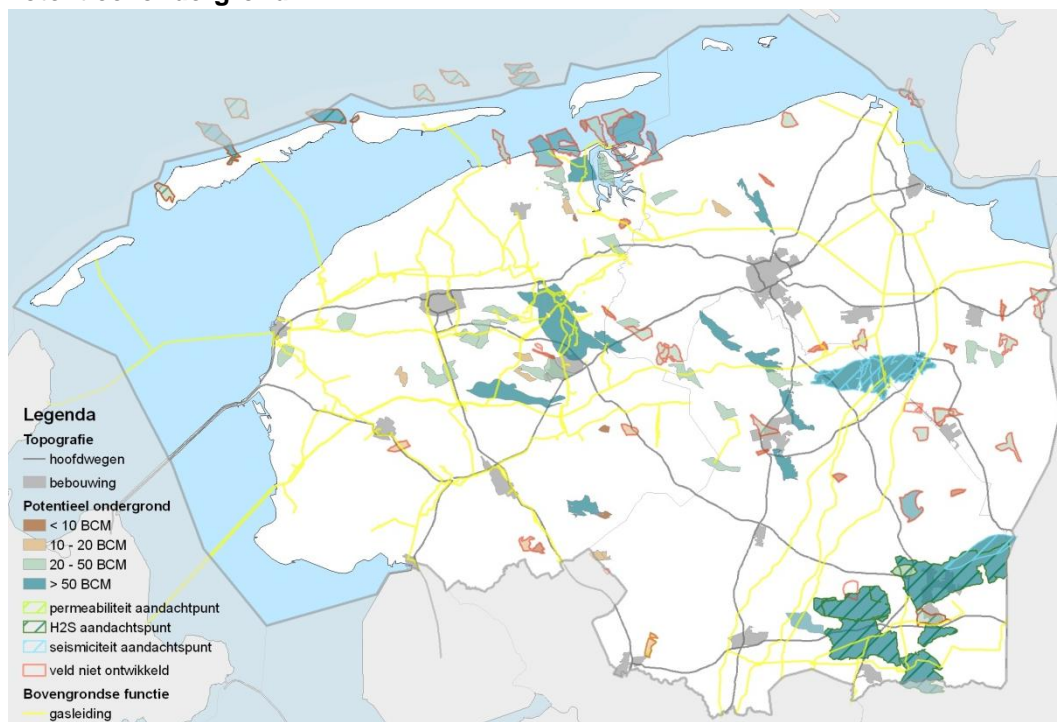
#### Beschrijving techniek

Door middel van ondergrondse gasopslag kan extra gas geleverd worden als de producerende velden niet aan de gewenste vraag kunnen voldoen. Het gas kan geïnjecteerd worden als de vraag laag is en worden geproduceerd indien de vraag te groot is voor de producerende velden. Door de grootte van de velden wordt gasopslag in lege gasvelden doorgaans als seizoensopslag gebruikt. Hierbij kunnen verschillen in vraag en aanbod tussen de seizoenen (zomer en winter) worden overbrugd.

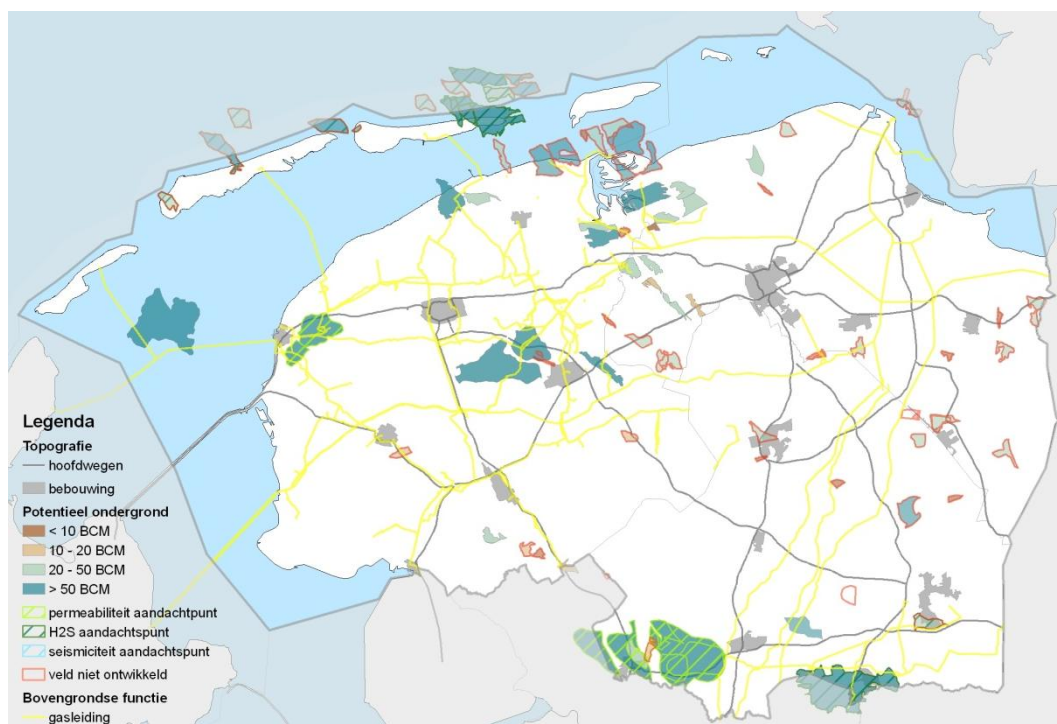


Figuur 2.13 Principe gasopslag in gasvelden

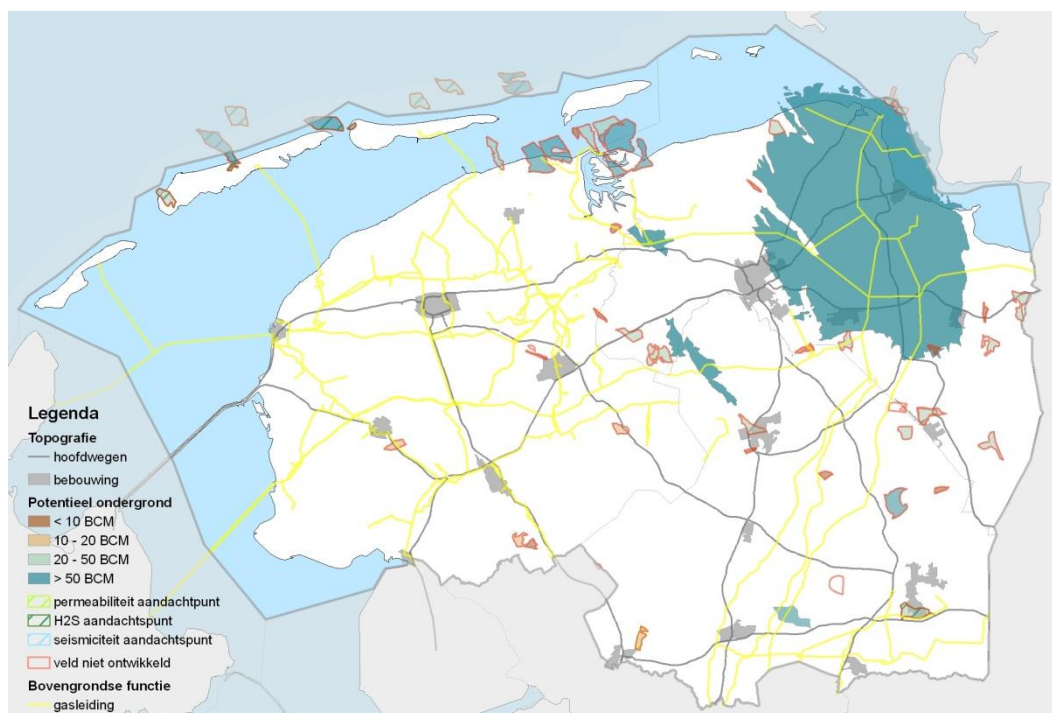
## Potentieel ondergrond



Figuur 2.14 Potentieel gasopslag in lege gasvelden t/m 2015



Figuur 2.15 Potentieel gasopslag in lege gasvelden 2015 t/m 2030



Figuur 2.16 Potentieel gasopslag in lege gasvelden na 2030

Figuur 2.14 tot en met 2.16 presenteren de potentieelkaarten voor gasopslag in lege gasvelden voor de verschillende periodes. Tabel 2.4 geeft een toelichting op de legenda.

Tabel 2.4 Toelichting legenda

legenda eenheid	potentieel
>50 bcm	laag
10-50 bcm	gemiddeld
< 10 bcm	hoog

Op basis van de stratigrafie van de gas- en olievelden in het noorden van Nederland is een onderverdeling gemaakt naar de geschiktheid van gasvelden voor ondergronds gasopslag ook wel UGS (Underground Gas Storage) genoemd. De stratigrafie voor elk veld is bepaald aan de hand van winningsplannen (NLOG-site). Voor velden waarvan het reservoir gesteente niet te achterhalen is uit winningsplannen zijn putten die deze velden aanboren geïnventariseerd. Het betreft hier alleen publieke gegevens. Wanneer geen winningsplan beschikbaar is en het is niet duidelijk welke put een veld aanboort, dan is het betreffende veld als *onbekend* aangegeven.

Bij het bepalen van de geschiktheid voor de verschillende gasvelden zijn de volgende criteria aangehouden:

- werkvolume;
- verhouding kussengas/werkgas.

Het werkvolume van een gasveld kan bepaald worden aan de hand van het totale volume van een gasveld. Het gasvolume van ieder veld is bepaald aan de hand van het totale gasvolume in Nederland en rechtstreeks verdeeld op basis van hun oppervlaktes. Op deze manier kan het volume voor elk gasveld het best benaderd worden. De werkelijke dikte is hierbij echter niet meegenomen waardoor de opslagcapaciteit van velden met een groot oppervlak maar met een geringe dikte, overschat kunnen worden. Uit de praktijk is gebleken dat de verhouding van het werkvolume/kussengas ongeveer 1: 5-8 is. Voor de bepaling van het potentieel is daarom een verhouding van 1:7 aangehouden.

De geschiktheid van de velden is weergegeven op basis van hun inhoud. De inhoud van een gasveld bepaald namelijk het opslagvolume maar ook de hoeveelheid kussengas. Hoe groter het kussengas volume, hoe hoger de investeringen.

De klassen zijn als volgt ingedeeld op basis van miljarden kubieke meters (BCM's):

- <10 BCM, goed geschikt;
- 10-50 BCM, redelijk geschikt;
- >50 BCM, niet geschikt.

### **Technische aandachtspunten**

#### *Permeabiliteit*

De doorlatendheid is een zeer belangrijk criterium voor UGS. Daarom is voor de velden in de Slochteren Formatie van het Rotliegend een onderverdeling gemaakt in de verwachte doorlatendheid op basis van het geologische afzettingmilieu. De Slochteren Formatie bestaat in de noordelijke provincies hoofdzakelijk uit eolische en fluviatiele zanden welke over het algemeen een hoge doorlatendheid hebben. Uit de verschillende porositeitmetingen blijkt dat de zanden rondom de Waddeneilanden een lagere porositeit hebben. Dit wordt veroorzaakt door een naar het noorden toenemend kleigehalte. Hierdoor neemt waarschijnlijk ook de doorlatendheid af richting het noorden en is het dus onzeker of de velden rondom de Waddeneilanden geschikt zijn voor UGS.

De meeste van de gasvelden in het Zechstein zijn momenteel nog niet ontwikkeld. Op basis van de grootte zouden deze velden misschien geschikt kunnen worden voor piekleveringen. Deze velden zijn wat reservoir eigenschappen betreft namelijk vergelijkbaar met de velden van Alkmaar waar UGS voor piekopslag toegepast wordt. Dit veld bevindt zich ook in een Zechstein carbonaat.

#### *H<sub>2</sub>S-gehalte*

Uit winningsplannen blijkt dat de velden in het zuidoosten van Drenthe een hoog H<sub>2</sub>S gehalte hebben. Het is aannemelijk dat het geïnjecteerde gas vervuild raakt met H<sub>2</sub>S en dus bij her-productie gezuiverd dient te worden. Hierdoor is het onzeker of deze velden geschikt zijn voor UGS.

#### *Aquifer supported velden*

De velden Roswinkel en Sleen produceren beide uit het Bontzandsteen reservoir gesteente en zijn aquifer supported. Dit houdt in dat de ruimte die vrijkomt door de productie van gas, opgevuld wordt met formatiewater. Hierdoor is het onzeker of deze velden geschikt zijn voor UGS. Dit dient nader onderzocht te worden indien een van deze velden benut wil worden voor UGS.

### *Complexiteit*

De velden de Wijk/Wanneperveen in het zuidwesten van Drenthe zijn gezien hun complexiteit waarschijnlijk ongeschikt voor UGS. Daarnaast heeft een deel van het gesteente een hoog kleigehalte en dus zeer waarschijnlijk een lage doorlatendheid. Het Veld Harlingen-Chalk is tevens twijfelachtig vanwege de zeer beperkte doorlatendheid van de kalksteen. De olievelden, waaronder Schoonebeek en Zweelo, zijn tevens gearceerd.

### *Bodemdaling*

Het reservoir gesteente voor Schiermonnikoog is niet publiekelijk bekend. Hoogtemetingen rondom de gasopslag locatie Langelo hebben aangetoond dat herinjectie van het voor opslag bestemde aardgas in het reservoir daar een "compenserende" werking heeft gehad op de bodemdaling (pers. comm. Dr. J. Breunese, TNO). Het is te verwachten dat UGS ook bij andere gasvelden compenserend zal werken. Deze compenserende werking zal groter zijn naarmate een reservoir dieper ligt. Concreet onderzoek naar deze mogelijke effecten heeft tot op heden niet plaatsgevonden.

### *Seismiciteit*

In een aantal gasvelden in Noord Nederland hebben zich in de afgelopen decennia relatief kleine aardbevingen voorgedaan, die het gevolg zijn van spanningsveranderingen in de diepe ondergrond door gaswinning. In een geïntegreerde studie zijn de zogenaamde "seismische risico's" van door gaswinning geïnduceerde aardbevingen in kaart gebracht (Wassing et al, 2004).

Bij gasopslag, vooral bij piek- en seizoensopslag, vindt zowel productie als injectie voortdurend plaats. Vanuit dit perspectief lijken de velden met een hoger seismisch risico minder geschikt om als locatie voor terugneembare opslag dienst te doen. Dit geldt voor de velden Roswinkel, Annerveen en Groningen. Het Groningen gasveld is daarnaast erg groot waardoor er een groot kussengas volume, en dus een hoge investering, nodig zal zijn. Andere velden moeten nog nader onderzocht worden. Dit speelt in mindere mate bij strategische gasopslag omdat het gas daar voor langere tijd opgeslagen wordt.

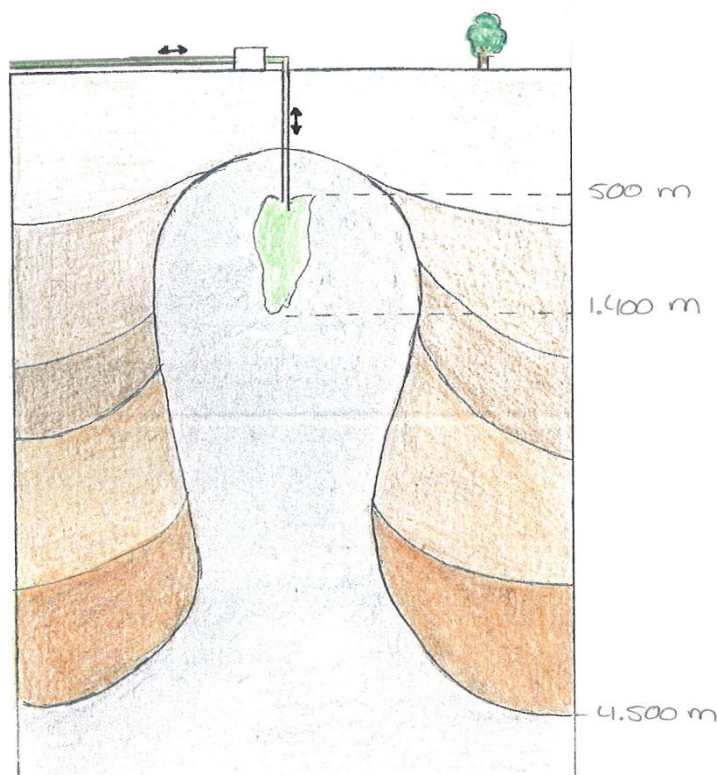
### **Relatie bovengrondse functies**

De mogelijkheden van gasopslag zijn, naast de technische aspecten, ook afhankelijk van de aanvoermogelijkheid van gas. Om deze reden is het bestaande gasnet op de kaarten geprojecteerd.

### 2.3.2 Gasopslag in cavernes

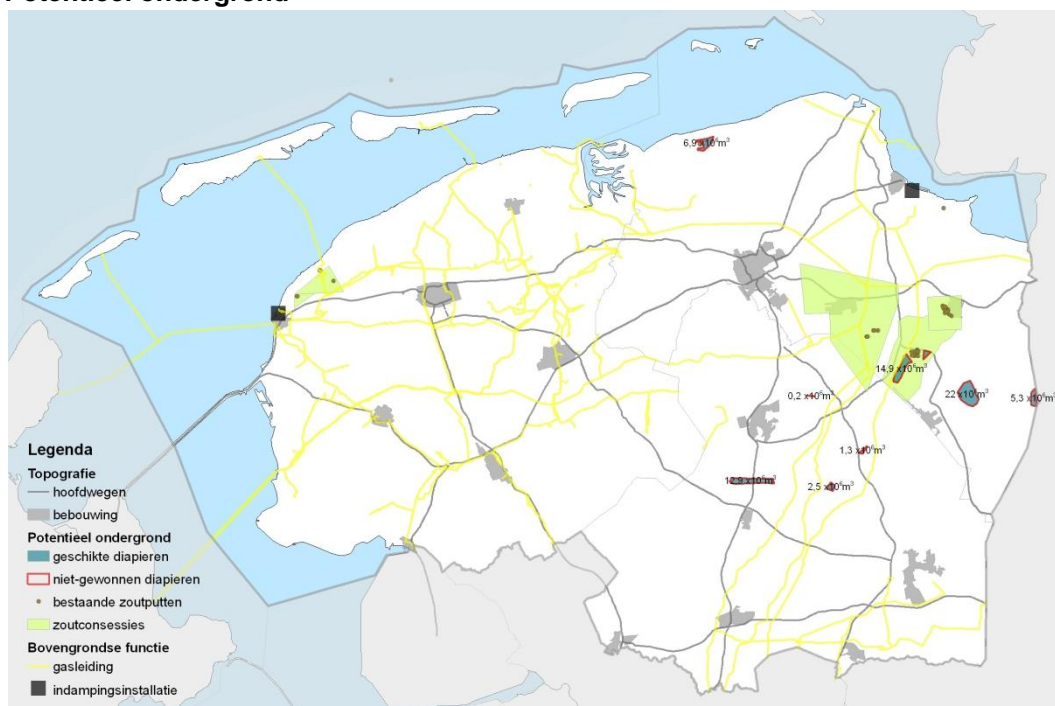
#### Beschrijving techniek

Na zoutwinning blijft een caveerne achter in de ondergrond. Deze holte kan gebruikt worden voor opslag. Ook gas kan opgeslagen worden in lege zoutcavernes. Zodra een caveerne gevormd is kan het gas geïnjecteerd worden. Gezien de opslagcapaciteit is een caveerne met name geschikt voor dag/nacht buffering. De huidige cavernes zijn niet geschikt om gas op te slaan. Hiervoor dienen nieuwe cavernes gemaakt te worden zoals beschreven onder zoutwinning uit diapiëren.



Figuur 2.17 Principe gasopslag in cavernes

#### Potentieel ondergrond



Figuur 2.18 Potentieel gasopslag in cavernes

Onder druk van het overliggende gesteente kan zoutvloeï optreden wat niet gewenst is bij opslag van gassen en vloeistoffen. De druk in een gemaakte caverne zal constant moeten zijn om zoutvloeï te voorkomen. Bij UGS kan bij het verwijderen van het gas (en dus de druk) enige mate van zoutvloeï ontstaan. Op termijn resulteert dit dus in een verkleining van de ruimte. Als absolute ondergrens is een diepte van 1400 m aangehouden waarbij het zout nog stabiel is. Beneden deze diepte is UGS waarschijnlijk niet toepasbaar. Als bovengrens is 500 m-mv aangehouden, naast een minimale zoutdikte van 200 m boven de top van de caverne (Staatstoezicht op de Mijnen, 1967/1976).

De criteria voor gasopslag in cavernes zijn hetzelfde als voor zoutwinning en dus is het potentieel op dezelfde manier berekend. Hierbij is dezelfde gemiddelde diameter van 40 m per caverne, en een maximale hoogte van de caverne van 200 m aangehouden. De inhoud van een caverne komt nu echter overeen met een hoeveelheid gas. Dit gas bevat, net zoals bij UGS in gasvelden, een deel kussengas en een deel werkgas. De verhouding werkvolume: kussengasvolume varieert tussen 1-4:1. In deze studie is gerekend met de verhouding 2,6:1. Deze verhouding is afgeleid uit gegevensoverzichten van verschillende UGS-cavernes over de hele wereld. Het potentieel dat weergegeven is in de kaarten bestaat uit de werkvolumes in kubieke meters (m<sup>3</sup>).

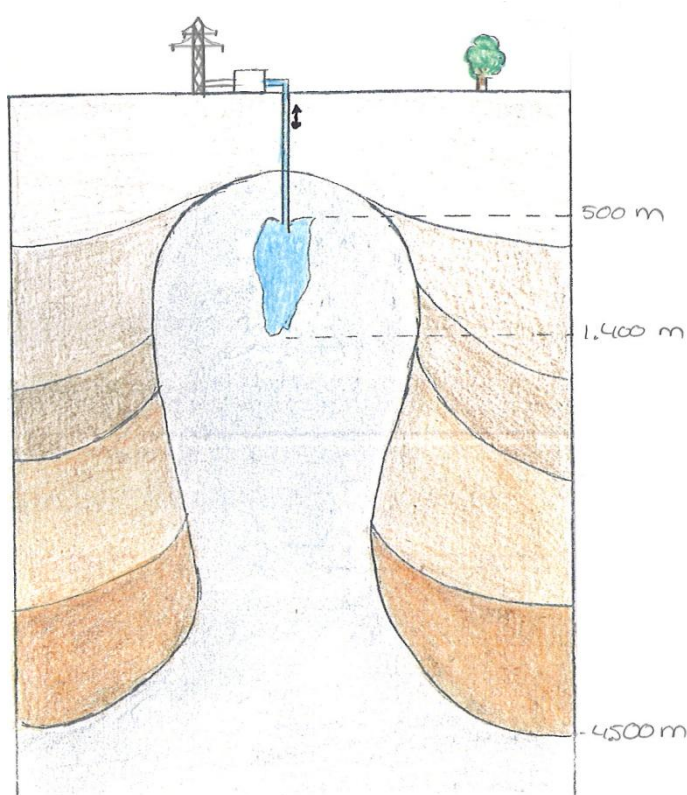
#### **Relatie bovengrondse functies**

De cavernes die nodig zijn voor gasopslag brengen hogere kosten met zich mee indien tijdens de zoutwinning het zout/pekel over grotere afstanden naar de indampingsinstallatie getransporteerd moet worden. Om deze reden zijn de locaties van de huidige indampingsinstallaties op de kaart geprojecteerd.

### 2.3.3 Persluchtopslag in cavernes

#### Beschrijving techniek

Idee achter deze techniek is dat elektriciteit wordt omgezet in gecomprimeerde lucht. Deze wordt vervolgens opgeslagen in de zoutcaverne. Tijdens daluren verbruikt een motor elektriciteit om lucht samen te persen en op te slaan in daarvoor gemaakte cavernes. Tijdens piekuren wordt de lucht weer naar boven gehaald waarbij de lucht vanzelf weer uitzet. Hierdoor wordt een generator aangedreven waardoor elektriciteit wordt geproduceerd. Op deze manier kan elektriciteit met een voldoende hoog rendement in grote hoeveelheden worden opgeslagen, zodat vraag en aanbod in de elektriciteitsvraag in evenwicht gebracht worden. Met name de koppeling met windenergie is een goede mogelijkheid.



Figuur 2.19 Principe persluchtopslag in cavernes

#### Potentieel ondergrond



Figuur 2.20 Potentieel persluchtopslag in cavernes

Ook bij persluchttopslag kan bij het verwijderen van de lucht (en dus de druk) enige mate van zoutvlei ontstaan. Op termijn resulteert dit in een verkleining van de ruimte. Als absolute ondergrens is een diepte van 1400 m aangehouden waarbij het zout nog stabiel is. Beneden deze diepte is persluchttopslag waarschijnlijk niet toepasbaar.

De criteria voor persluchttopslag in cavernes komen verder overeen met die voor zoutwinning. Eventuele drukverschillen tussen verschillende gebruikersdoelen van een caveerne kan worden voorkomen door een andere putconfiguratie. Deze cavernes zijn vergeleken met de gegevens van de cavernes in Huntorf (Crotogino et al., 2001). Per caveerne kan er een vermogen van 290 MW opgeslagen worden.

#### Relatie bovengrondse functies

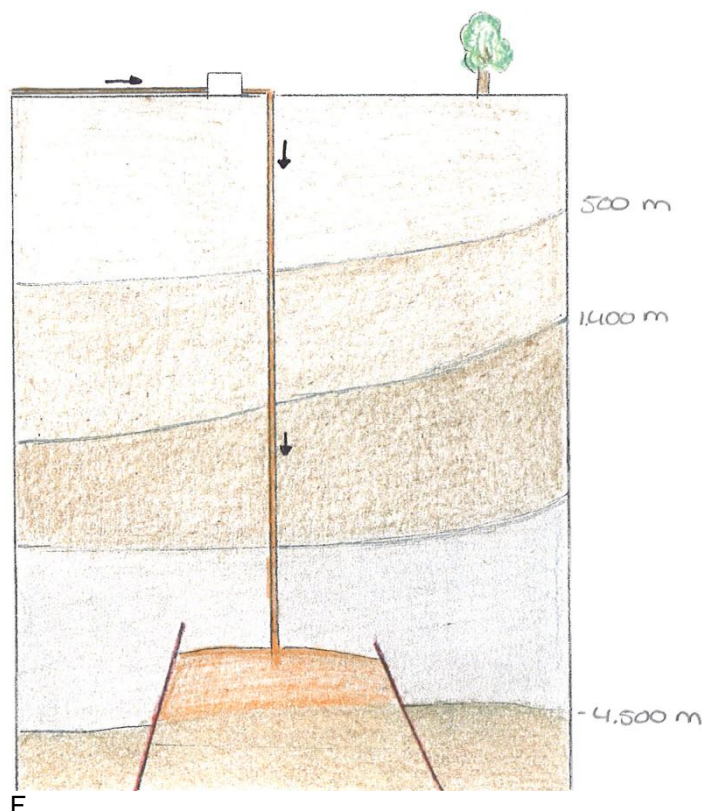
De cavernes die nodig zijn voor persluchttopslag brengen hogere kosten met zich mee indien tijdens de zoutwinning het zout/pekel over grotere afstanden naar de indampingsinstallatie getransporteerd moet worden. Om deze reden zijn de locaties van de huidige indampingsinstallaties op de kaart geprojecteerd.

#### 2.3.4 CO<sub>2</sub>-opslag in lege gasvelden

##### Beschrijving techniek

De CO<sub>2</sub> kan opgevangen worden bij de bron en worden geïnjecteerd in de ondergrond. Dit kan gedaan worden in lege gas/olievelden, aquifers en lege mijngangen. Al deze opties moeten afgesloten zijn wil de opgeslagen CO<sub>2</sub> niet kunnen ontsnappen. Om deze reden zijn lege gas- en olievelden hier uitermate geschikt voor. De CO<sub>2</sub> wordt onder druk gebracht waardoor het als vloeistof geïnjecteerd wordt.

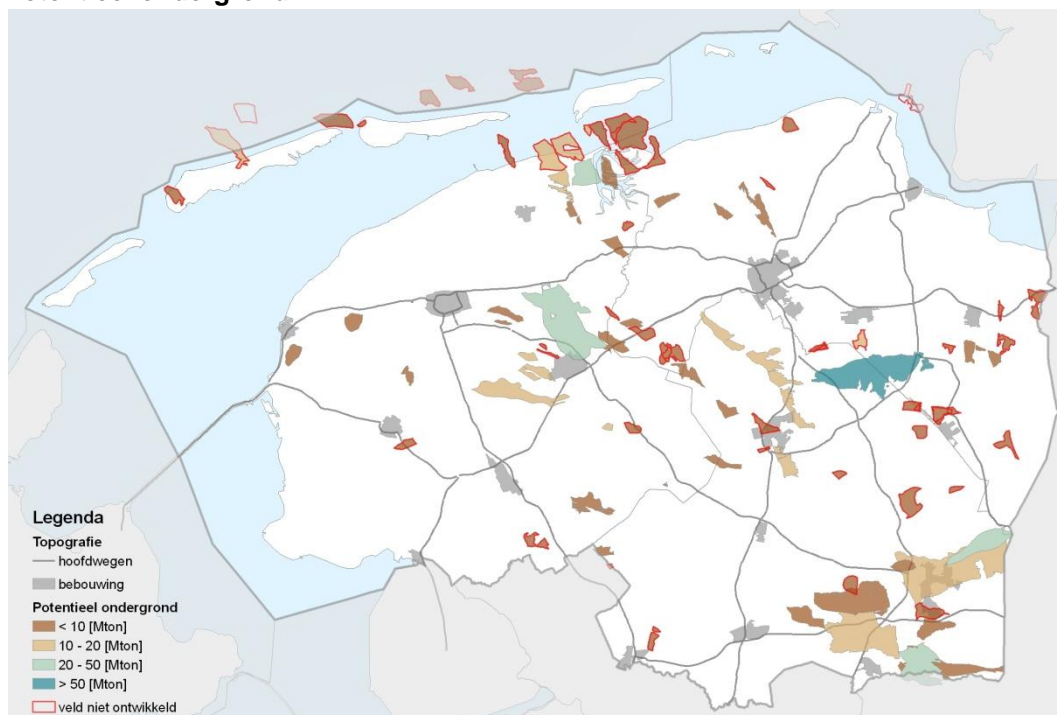
Zoutcavernes komen, gezien het maximum volume wat ze kunnen bereiken, niet in aanmerking voor CO<sub>2</sub> opslag.



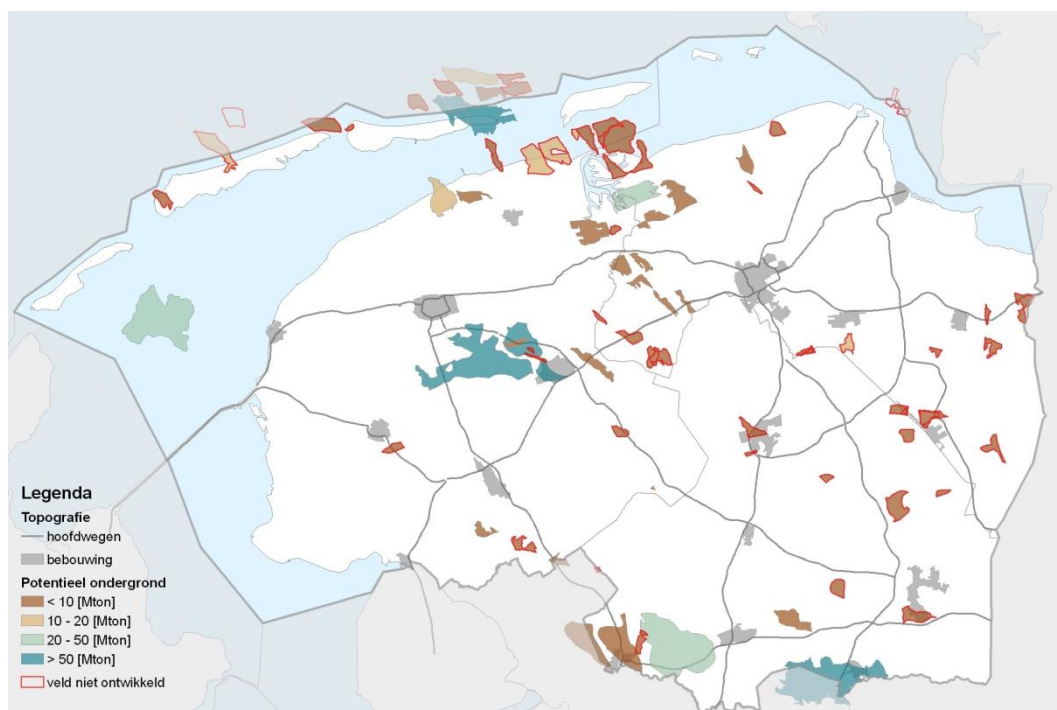
F

Figuur 2.21 CO<sub>2</sub>-opslag in lege gasvelden

## Potentieel ondergrond



Figuur 2.22 Potentieel CO<sub>2</sub>-opslag in lege gasvelden t/m 2015



Figuur 2.23 Potentieel CO<sub>2</sub>-opslag in lege gasvelden 2015 t/m 2030



Figuur 2.24 Potentieel CO<sub>2</sub>-opslag in lege gasvelden na 2030

Figuur 2.22 tot en met 2.24 presenteren de potentieelkaarten voor CO<sub>2</sub>-opslag in lege gasvelden voor de verschillende periodes. Tabel 2.5 geeft een toelichting op de legenda.

Tabel 2.5 Toelichting legenda

legenda eenheid	potentieel
<20 Mton	laag
20-50 Mton	gemiddeld
>50 Mton	hoog

Voor het opslaan van CO<sub>2</sub> in de ondergrond kan gebruikt gemaakt worden van gas- en olievelden of van aquifers. Gas- en olievelden hebben door hun bestaan aangetoond dat zij olie en gas kunnen vasthouden over geologisch lange perioden. Om deze reden zijn deze velden ook geschikt voor de opslag van CO<sub>2</sub>. Naast opslag is het ook mogelijk om door het injecteren van CO<sub>2</sub> de gas- of oliewinning in het laatste stadium te verbeteren. Door CO<sub>2</sub> te injecteren wordt de druk verhoogt en kan de olie makkelijker worden gewonnen. In het Schoonebeek-veld is de haalbaarheid echter gering vanwege de relatief hoge kosten in verhouding tot de opbrengst. Dit komt doordat de olie hier te stroperig is en het veld te ondiep ligt voor de optimale drukcondities. Om deze redenen wordt dan ook stoominjectie gebruikt.

Het kennisniveau over het gedrag van de reservoirs is aanzienlijk, vooral vergeleken met de kennis over aquifers. De mogelijkheden voor CO<sub>2</sub> opslag in aquifers zijn niet in de kaart opgenomen. De locaties en gegevens over de capaciteit zijn niet openbaar.

Om een overzicht te geven van de gas- en olievelden die geschikt zijn voor CO<sub>2</sub> opslag is gebruik gemaakt van de gegevens uit een eerdere verkenningstudie van de Provincie Drenthe (TNO-NITG, 2006) en de EnergieNed studie (TNO, 2007). De bepaling van de opslagcapaciteiten verschilt per studie. Voor Drenthe is destijds toestemming gekregen van de NAM om het totale gasvolume per gasveld te gebruiken voor de bepaling van de CO<sub>2</sub> capaciteit van de velden, met de voorwaarde dat de uitkomsten alleen in klassen zouden worden weergegeven. De gasvolumes voor de velden gelegen in Fryslân en Groningen zijn echter niet op korte termijn beschikbaar. Daarom is gekozen om de geschatte capaciteit uit de EnergieNed studie te gebruiken.

In het EnergieNed project is door middel van het totale Nederlandse gasvolume en de oppervlakte van de gasvelden een inschatting gemaakt van de opslagcapaciteit. De dikte is hierbij echter niet meegenomen waardoor de CO<sub>2</sub> opslagcapaciteit van velden met een groot oppervlak maar een geringe dikte overschat kunnen worden. Hierdoor hebben deze capaciteiten een grotere mate van onzekerheid. De velden Norg en Grijskerk zijn ook meegenomen in de CO<sub>2</sub> opslag kaarten. Ook al zijn deze velden nu in gebruik voor gasopslag, ze kunnen in theorie benut worden voor CO<sub>2</sub> opslag.

De capaciteit van CO<sub>2</sub>-opslag is voor beide studies bepaald aan de hand van de volgende formule:

$$SCCO_2 = \frac{UR_g}{EF_g} * \rho_{CO_2}$$

Waar:

SCCO<sub>2</sub> = de opslagcapaciteit van CO<sub>2</sub> [Mton]

UR<sub>g</sub> = totale oorspronkelijke hoeveelheid gas in een gasveld (Ultimate Recovery) [m<sup>3</sup>]

EF<sub>g</sub> = gasexpansie factor

ρ<sub>CO<sub>2</sub></sub> = dichtheid van CO<sub>2</sub> bij reservoir condities [kg/m<sup>3</sup>]

De gegevens zijn onderverdeeld in de volgende klassen namelijk:

- Minder dan 10 Mton;
- 10-20 Mton;
- 20-50 Mton;
- > 50 Mton.

Kleine velden hebben relatief hoge investeringen aangezien hier een kleine hoeveelheid CO<sub>2</sub> in opgeslagen kan worden. Om deze reden zijn velden onder de 10 Mton in dezelfde klasse ingedeeld. Bij de indeling is geen rekening gehouden met de complexiteit van het veld. Hoe complexer het veld, hoe meer putten nodig zijn om het gehele veld te injecteren met CO<sub>2</sub>.

De CO<sub>2</sub> capaciteit van het Fryslânveld omvat tevens de velden Nijega, Middelburen. Grou, Rauwerd, Warten en Opeinde-Zuid. Deze velden zijn als een enkel veld beschouwd, ook al liggen ze op stratigrafisch verschillende niveaus. De CO<sub>2</sub> capaciteit van het Saaksumveld omvat zowel oost als west.

## Technische aandachtspunten

### *Seismisch risico*

Hoewel seismische activiteit tijdens CO<sub>2</sub>-opslag niet is uit te sluiten, is het geen waarschijnlijk scenario. Eventuele seismische activiteit zal in ieder geval niet groter zijn dan tijdens de fase van gaswinning.

### *Bodemdaling*

Het is te verwachten dat de opslag van CO<sub>2</sub> een “compenserende” werking heeft op door gaswinning opgetreden bodemdaling. Deze compenserende werking zal groter zijn naarmate een reservoir dieper ligt. Voor zover bekend is de compenserende werking niet gelijk aan de hoeveelheid daling die is opgetreden. De daling is in grote mate onomkeerbaar. Concreet onderzoek naar deze mogelijke effecten heeft tot op heden niet plaatsgevonden.

### *Ouderdom putten*

Algemeen wordt aangenomen dat de kwaliteit van de putten het meest bepalend is voor de kwaliteit van de opslaglocatie. Bij putten die niet goed zijn afgewerkt kan lekkage van CO<sub>2</sub> optreden. Dit risico is groter naarmate de putten ouder zijn. In 1967 en 1976 is de regelgeving over het afwerken en verlaten van putten verbeterd, onder toezicht van de Staatstoezicht op de Mijnen (aanvullende Mijnbouw regelgeving, 1967/1976). Uit de historie van de regelgeving kan worden aangenomen dat putten, geboord na 1976, relatief minder gevoelig zouden kunnen zijn voor lekkage. Voor putten ouder dan 1967 kan echter het tegenovergestelde verwacht worden en deze brengen dus mogelijk een groter risico met zich mee.

Voor de kaarten zijn alle putten geïnventariseerd en onderverdeeld naar ouderdom. Daarnaast is een onderscheid gemaakt naar de status van deze putten, die aangegeven is in de NLOG database. Voornamelijk de verlaten putten vormen een groter risico omdat deze moeilijker bereikbaar zijn. Putten die nog in gebruik zijn, kunnen of zijn inmiddels aangepast. Dit is overigens ook nog steeds mogelijk voor verlaten putten, maar het traceren en heropenen van een put zal hoge kosten met zich meebrengen. Of een veld met een put ouder dan 1967 uiteindelijk wel of niet gebruikt wordt voor CO<sub>2</sub>-opslag zonder heropenen van de oude putten hangt vooral af van het risico dat moet durven worden genomen. De putten zijn als volgt verdeeld:

- putten plugged en verlaten met een ouderdom ouder dan 1967;
- putten plugged en verlaten geboord tussen 1967 en 1976;
- putten plugged en verlaten na 1976;
- producerende / toegankelijke putten.

### *Drukdepletie*

Door het winnen van gas, kan er verlaging van de druk in het reservoir optreden, de zogenaamde drukdepletie. De drukverlaging wordt weergegeven ten opzichte van de initiële reservoirdruk. Naarmate de drukdepletie groter is, wordt het moeilijker om het gas te onttrekken maar makkelijker om gas of CO<sub>2</sub> te injecteren. Hierdoor zullen de operationele kosten voor injectie lager zijn. Voor CO<sub>2</sub>-opslag is het dus gunstig als de drukdepletie groter is. Er is een duidelijke relatie waarneembaar tussen de diepte en de drukdepletie van een reservoir. De dieper gelegen reservoirs hebben gunstiger condities dan ondieper gelegen reservoirs. Aan de andere kant kan worden aangenomen dat de investeringen

voor de putten hoger zijn naarmate de reservoirs dieper liggen. Het is op grond hiervan niet mogelijk om aan te geven of een diepere ligging tot meer of minder overall kosten leidt dan een ondiepere ligging.

### Relatie bovengrondse functies

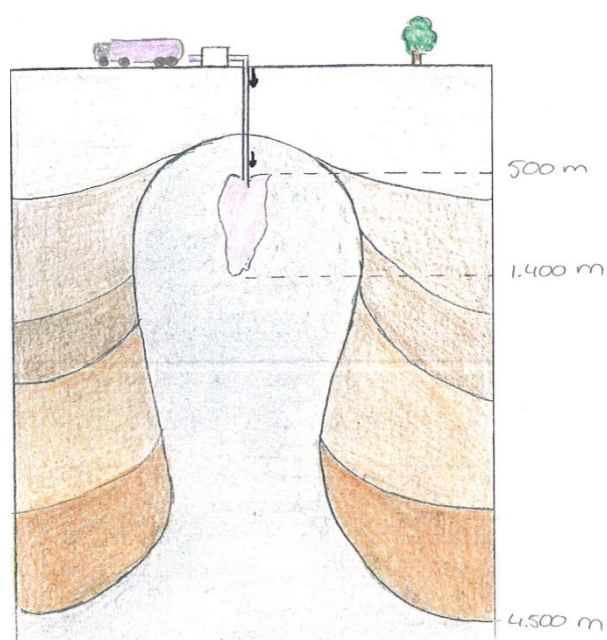
Voor de bepaling van de meest kansrijke locaties voor de toepassing van CO<sub>2</sub>-opslag zijn de grootschalige emissie-uitstootlocaties van belang. Hier is geen informatie over beschikbaar. Fryslân

## 2.4 Verwijdering van afvalstoffen in cavernes

### Beschrijving techniek

Zowel bestaande als nog te vormen zoutcavernes zijn technisch geschikt voor de verwijdering van afvalstoffen. Deze stoffen kunnen via de zoutwinningsput in de caveerne worden gestort of geïnjecteerd. Niet alle afvalstoffen mogen zonder meer in de ondergrond worden verwijderd. Conform het vigerende LAP gelden voor verwijdering in de diepe ondergrond onderstaande voorwaarden:

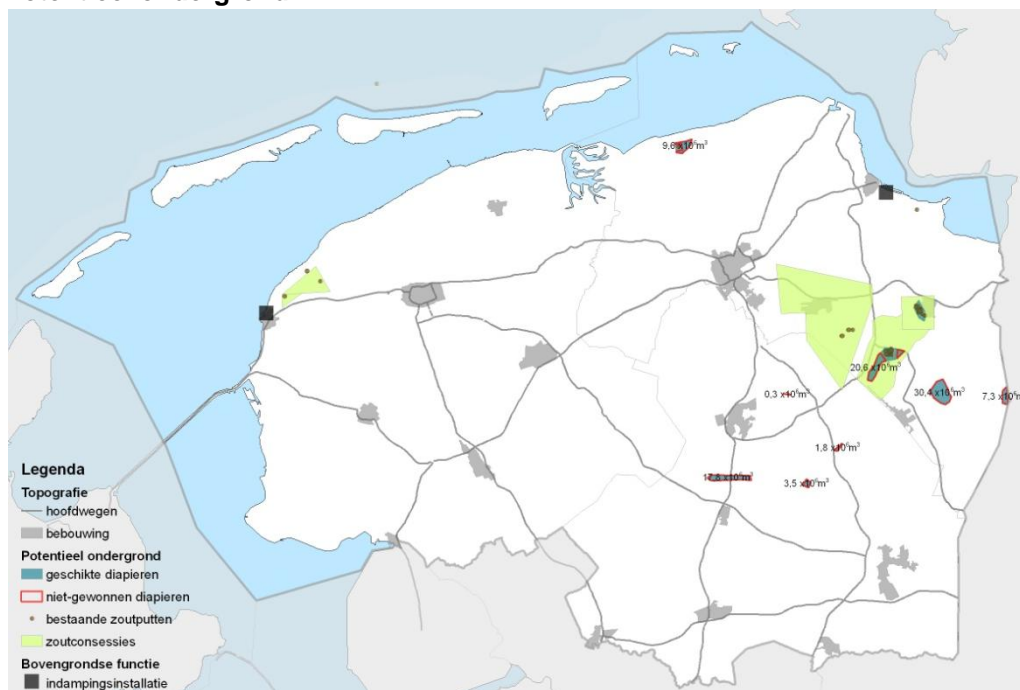
- de bodem is in beginsel niet bestemd voor het opbergen van afvalstoffen of componenten van afvalstoffen die niet rechtstreeks ter plaatse uit de bodem afkomstig zijn;
- verwijderen van afvalstoffen is alleen aanvaardbaar als de te bergen afvalstoffen terugneembaar zijn<sup>3</sup>.
- de wijze van verwijderen dient te voldoen aan de IBC-criteria.



Figuur 2.25 Afval verwijderen in cavernes

<sup>3</sup> Vaste stoffen raken bij verwijderen in cavernes uiteindelijk opgesloten in het zout, waardoor ze niet kunnen worden teruggehaald. Verwijderen van vaste stoffen in cavernes wordt hiermee uitgesloten.

## Potentieel ondergrond



Figuur 2.26 Potentieel afvalverwijdering in cavernes

Het potentieel voor afvalverwijdering is uitgedrukt in de beschikbare opslagcapaciteit van de cavernes in kubieke meters volume ( $m^3$ ). Voor de verwijdering van vloeistoffen bestaat het risico dat de vloeistof tijdens zoutvloed uit de caverne gedrukt kan worden. Zoutkoepele op grotere diepte ( $>1400$  m) zijn in verband met dit stabiliteitsrisico niet geschikt.

Naast het vormen van nieuwe cavernes, is het ook mogelijk om afval te verwijderen in de huidige zoutcavernes. Het potentieel van deze cavernes is gebaseerd op gegevens uit 2007 (Staatstoezicht op de Mijnen, 2007).

### Relatie bovengrondse functies

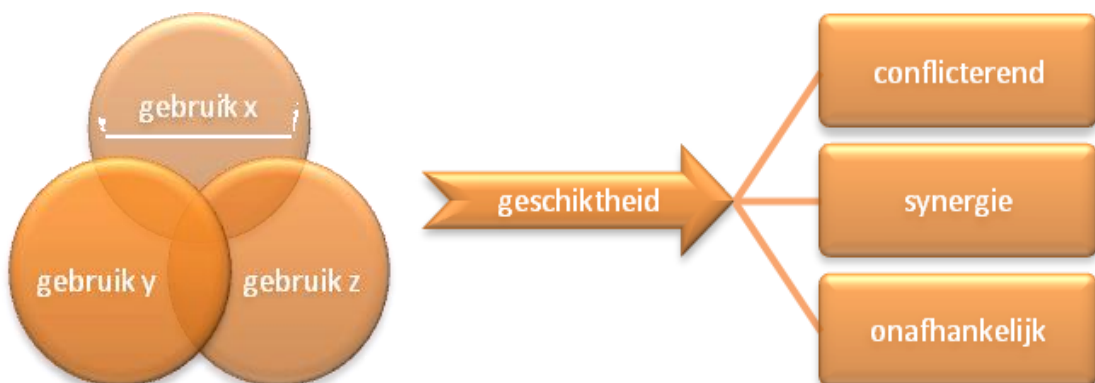
De cavernes die nodig zijn voor afvalverwijdering brengen hogere kosten met zich mee indien het zout over grotere afstanden naar de indampingsinstallatie getransporteerd moet worden. Om deze reden zijn de locaties van de huidige indampingsinstallaties op de kaart geprojecteerd.

## 3 Functiecombinaties/-conflicten

### 3.1 Inleiding

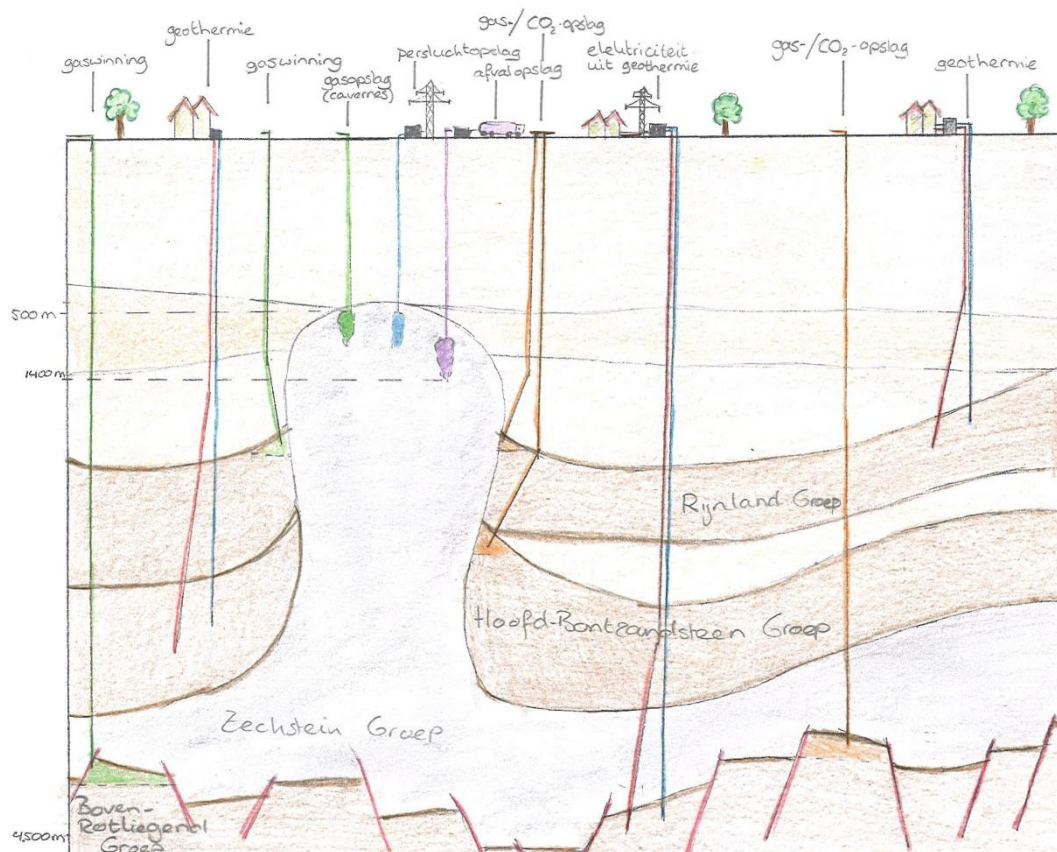
In voorgaande technische analyse is de geschiktheid van de diepe ondergrond voor de toepassing van de verscheidende gebruikersfuncties in kaart gebracht. Dit hoofdstuk maakt inzichtelijk in welke gebieden meerdere gebruikersfuncties toepasbaar zijn en welke vorm van interferentie (=interactie) tussen deze functies kan optreden. De volgende interferentievormen kunnen worden getypeerd (zie figuur 3.1):

1. Synergie: daar waar gebruiksopties elkaar positief beïnvloeden of goed samen kunnen gaan. Zoutwinning en persluchtopslag bijvoorbeeld gaan heel goed samen;
2. Conflicterend: daar waar opties elkaar negatief beconcurreren of negatief beïnvloeden. Voorbeeld: opslag van gas in een leeg gasveld kan opslag van CO<sub>2</sub> in hetzelfde veld in de weg zitten, maar de eisen die de twee gebruiksopties aan een gasveld stellen zijn ook dermate anders dat er misschien geen sprake is van concurrentie;
3. Onafhankelijk: gebruiksopties zitten elkaar (technisch) niet in de weg en kunnen naast of boven elkaar bestaan. Voorbeeld: elektriciteit uit geothermie en gaswinning kunnen naast/boven elkaar toegepast worden.



Figuur 3.1 Interferentie tussen gebruikersfuncties

Interferentie vormt in principe technisch geen belemmering indien functies gebruik maken van reservoirs op verschillende diepte. Ter illustratie presenteert figuur 3.2 een overzichtstekening met alle gebruikersfuncties met hun voorkomen naar de diepte.



Figuur 3.2 Overzichtstekening gebruikersfuncties met de diepte

Uit figuur 3.2 en tabel 3.1 volgt dat de toepasbaarheid van functies gekoppeld is aan een 5-tal lagen, overeenkomend met de verbreiding van geologische formaties. Zo vindt de opslag/verwijdering in cavernes (gas-, afval- en perslucht opslag) uitsluitend plaats op een diepte van 500 - 1400 m in de Zechsteingroep. De overige gebruikersfuncties kunnen gebruik maken van de formaties tussen 1.400 en 4.500 m, waarbij voor de elektriciteitswinning uit geothermie enkel de Boven-Rotliegend Groep geschikt is.

Tabel 3.1 Voorkomen gebruikersfuncties met de diepte

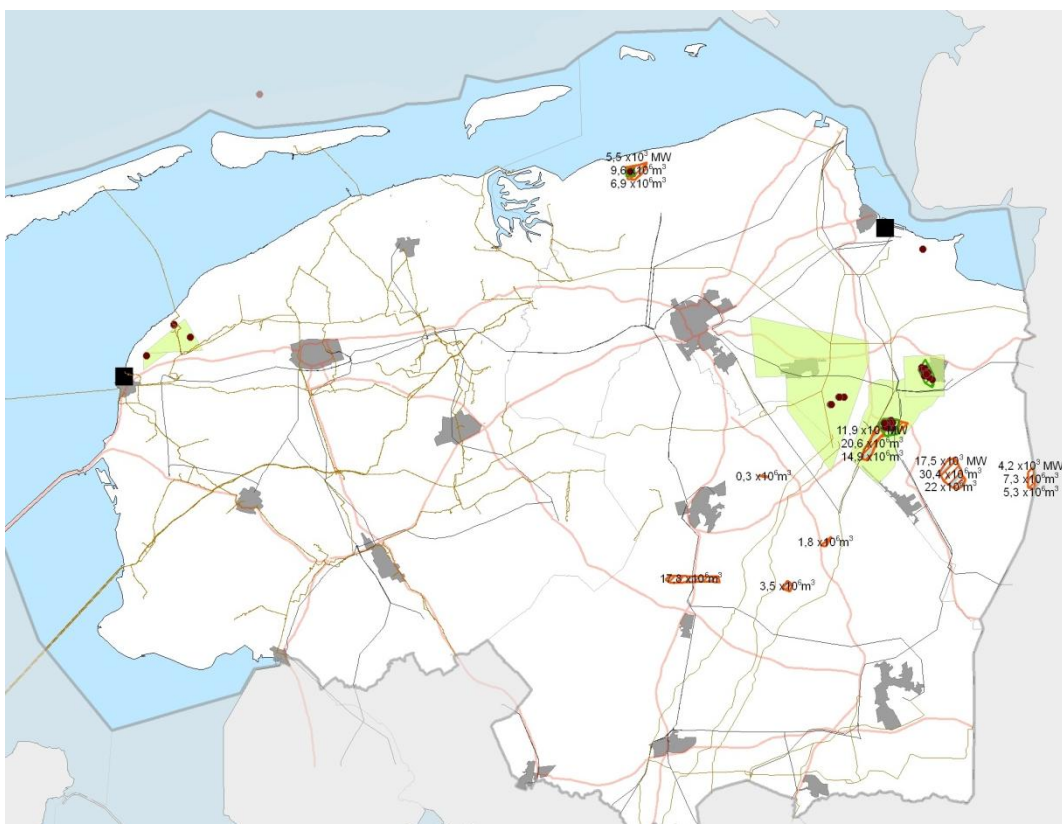
diepte	formatie/Groep	winning	opslag	verwijderen
500 -1400 m	Zechstein	zout	gas perslucht	afval
1400 -4500 m	Rijnland	gas/olie geothermie warmte	gas	CO <sub>2</sub>
	Hoofd- Bontzandsteen	gas/olie geothermie warmte	gas	CO <sub>2</sub>
	Boven-Rotliegend	gas/olie geothermie warmte	gas	CO <sub>2</sub>
	Overige members	geothermie elektrisch gas/olie	gas	CO <sub>2</sub>

## Leeswijzer

Om de interferentie tussen verschillende gebruikersfuncties inzichtelijk te maken is gekozen voor de hierboven beschreven lagen benadering. De volgende paragrafen gaan per laag nader in op de interferentie tussen de verschillende gebruikersfuncties. De interactie tussen functies wordt gepresenteerd door middel van synergie-conflictenkaarten. Vervolgens wordt aangegeven in tabelvorm welke functies samengaan dan wel conflicteren.

### 3.2 Laag 1: Zechstein Groep

#### Functiecombinaties/conflicten



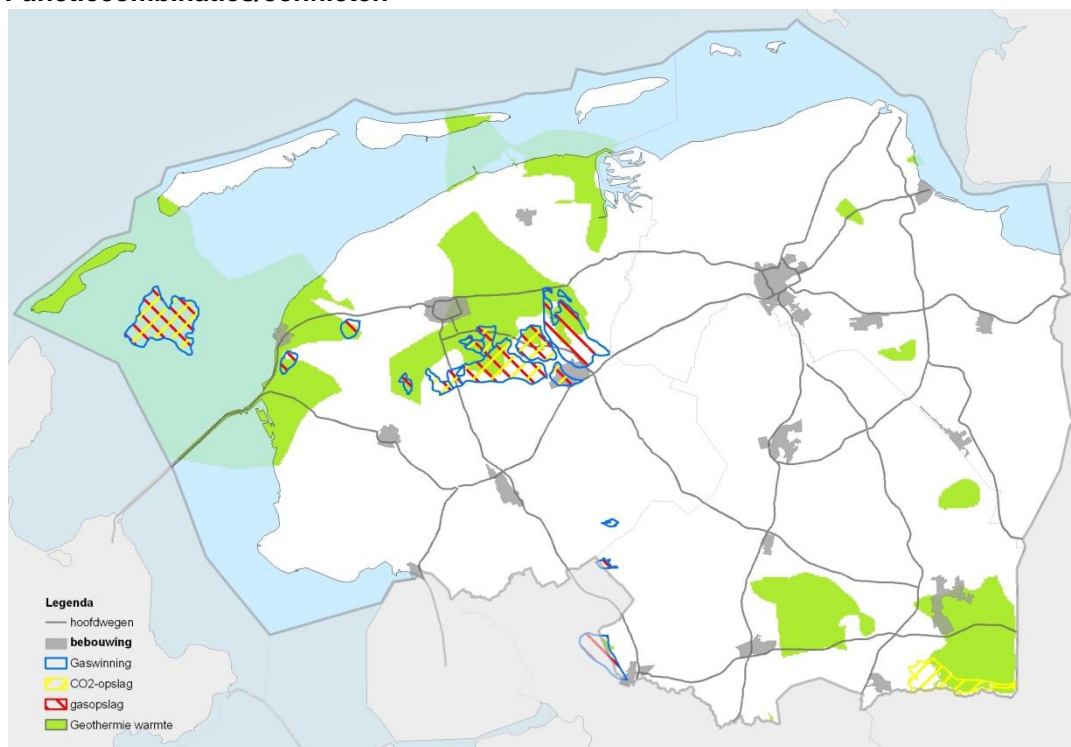
Tabel 3.2 Functiecombinaties/conflicten Zechstein Groep

		winning				opslag		verwijderen	
		zout	gas	geo-warmte	geo-elektrisch	gas	perslucht	CO <sub>2</sub>	afval
<b>winning</b>	zout								
	gas								
	geo-warmte								
	geo-elektrisch								
<b>opslag</b>	gas								
	perslucht								
<b>verwij- deren</b>	CO <sub>2</sub>								
	afval								

■ = conflicterend; ■ = synergievoordeel; ■ = geen interferentie.

### 3.3 Laag 2: Rijnland Groep

#### Functiecombinaties/conflicten



Figuur 3.4 Synergie-conflictenkaart Rijnland Groep

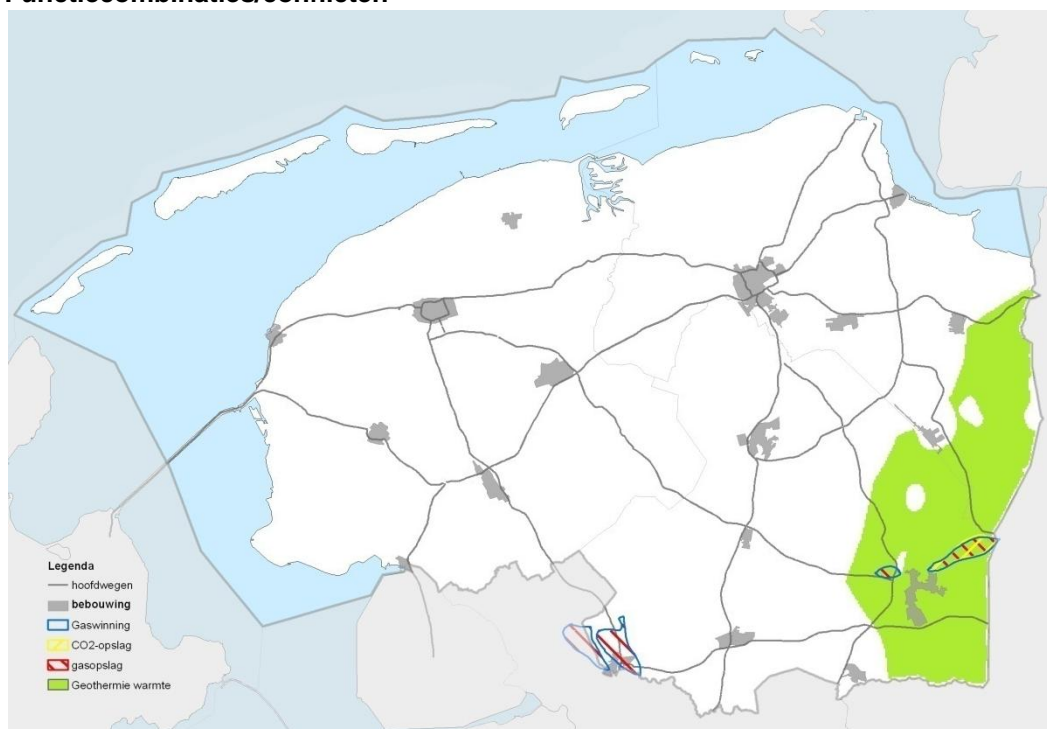
Tabel 3.3 Functiecombinaties/conflicten Rijnland groep

		winning				opslag		verwijderen	
		zout	gas	geo-warmte	geo-elektrisch	gas	perslucht	CO <sub>2</sub>	afval
<b>winning</b>	zout								
	gas								
	geo-warmte								
	geo-elektrisch								
<b>opslag</b>	gas								
	perslucht								
<b>verwij- deren</b>	CO <sub>2</sub>								
	afval								

■ = conflicterend; ■ = synergievoordeel; ■ = geen interferentie.

### 3.4 Laag 3: Hoofd-Bontzandsteen Groep

#### Functiecombinaties/conflicten



Figuur 3.5 Synergie-conflictenkaart Hoofd-Bontzandsteen Groep

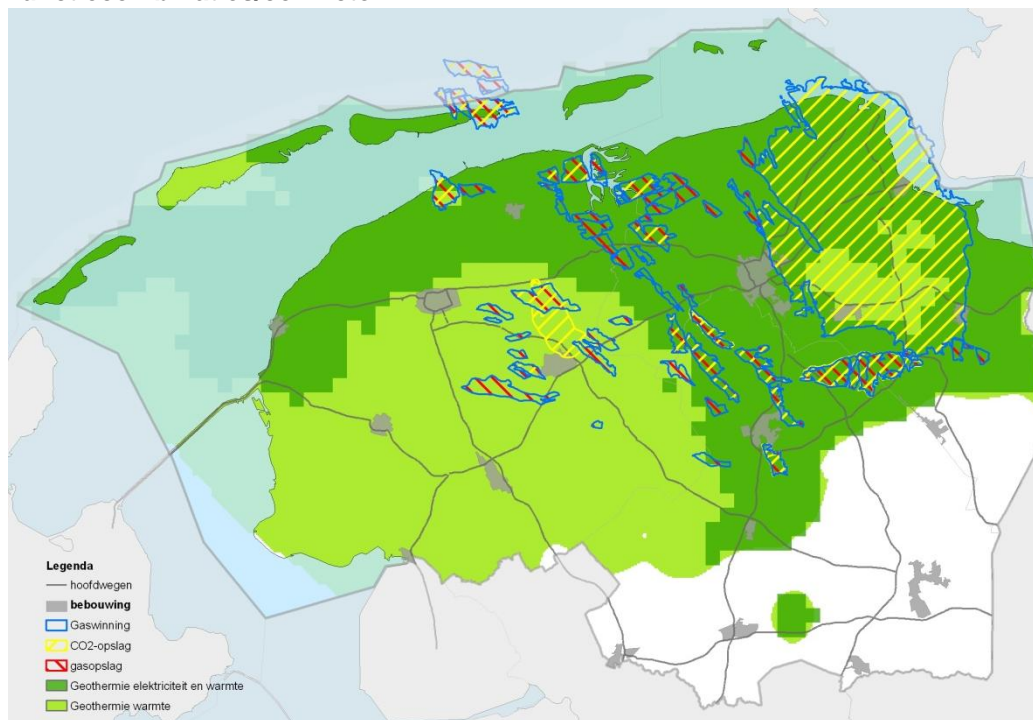
Tabel 3.4 Functiecombinaties/conflicten Hoofd-Bondzandsteen Groep

		winning				opslag		verwijderen	
		zout	gas	geo-warmte	geo-elektrisch	gas	perslucht	CO <sub>2</sub>	afval
<b>winning</b>	zout								
	gas								
	geo-warmte								
	geo-elektrisch								
<b>opslag</b>	gas								
	perslucht								
<b>verwijderen</b>	CO <sub>2</sub>								
	afval								

■ = conflicterend; ■ = synergievoordeel; ■ = geen interferentie.

### 3.5 Laag 4: Boven-Rotliegend Groep

#### Functiecombinaties/conflicten



Figuur 3.6 Synergie-conflictenkaart Boven-Rotliegend Groep

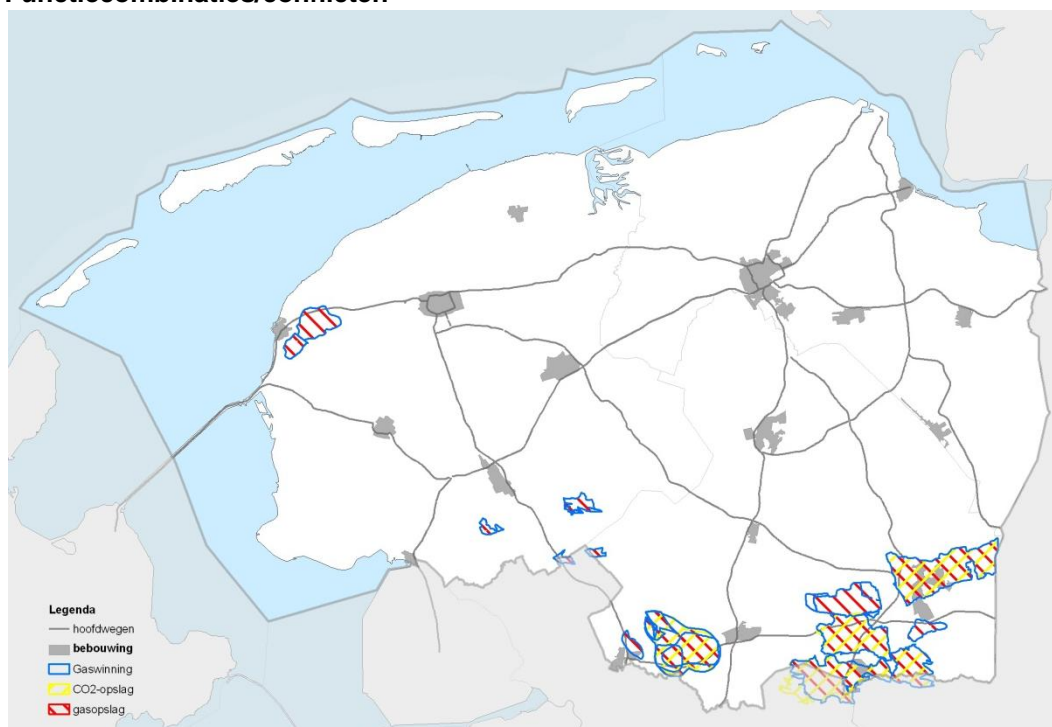
Tabel 3.5 Functiecombinaties/conflicten Boven-Rotliegend Groep

		winning				opslag		verwijderen	
		zout	gas	geo-warmte	geo-elektrisch	gas	perslucht	CO <sub>2</sub>	afval
<b>winning</b>	zout								
	gas								
	geo-warmte								
	geo-elektrisch								
<b>opslag</b>	gas								
	perslucht								
<b>verwijderen</b>	CO <sub>2</sub>								
	afval								

■ = conflicterend; ■ = synergievoordeel; ■ = geen interferentie.

### 3.6 Laag 5: Overige members

#### Functiecombinaties/conflicten



Figuur 3.7 Synergie-conflictenkaart Overige members

Tabel 3.6 Functiecombinaties/conflicten Overige members

		winning				opslag		verwijderen	
		zout	gas	geo-warmte	geo-elektrisch	gas	perslucht	CO <sub>2</sub>	afval
<b>winning</b>	zout	■	■	■	■	■	■	■	■
	gas	■	■	■	■	■	■	■	■
	geo-warmte	■	■	■	■	■	■	■	■
	geo-elektrisch	■	■	■	■	■	■	■	■
<b>opslag</b>	gas	■	■	■	■	■	■	■	■
	perslucht	■	■	■	■	■	■	■	■
<b>verwij- deren</b>	CO <sub>2</sub>	■	■	■	■	■	■	■	■
	afval	■	■	■	■	■	■	■	■

■ = conflicterend; ■ = synergievoordeel; ■ = geen interferentie.

## 4 Technische conclusies en aanbevelingen

### 4.1 Inleiding

De technische analyse in hoofdstuk 2 laat zien dat er een grote verscheidenheid aan mogelijkheden ligt in de diepe ondergrond in Noord-Nederland. Door het enorme potentieel van gebruiksopties in de bodem liggen er grote kansen voor de noordelijk provincies Groningen, Fryslân en Drenthe. Naast de grote gas- en oliereserves, die uit economische motieven geëxploreerd worden, biedt de ondergrond grote kansen voor een verdere verduurzaming van de maatschappij. Het afvangen en verwijderen van CO<sub>2</sub>, de winning van aardwarmte voor duurzame verwarming en elektriciteitsopwekking, het koppelen van persluchtopslag aan elektriciteit uit windenergie zijn allemaal voorbeelden hiervan.

Om te bepalen waar de kansen liggen voor de diepe ondergrond in Noord-Nederland is de technische analyse uitgebreid met een analyse van de mogelijke synergie en eventuele conflicterende belangen tussen gebruiksopties. Dit is in hoofdstuk 3 beschreven. Op basis van de synergiekaarten zijn deze kansen en conflicten helder geworden.

Enkele voorbeelden van synergie: een caverne die is gecreëerd via zoutwinning, kan naderhand gebruikt worden voor persluchtopslag. Ook kan het injecteren van CO<sub>2</sub> leiden tot een verhoogde productie uit de gaswinning, doordat de druk in het reservoir toeneemt.

Voorbeelden van conflicten zijn: toepassing van geothermie word belemmerd op locaties waar gas geproduceerd wordt. Ook zal er voor bepaalde verlaten gasvelden zowel een mogelijkheid zijn voor gasopslag als voor CO<sub>2</sub>-opslag.

### 4.2 Technische conclusies

Op basis van het onderzoek naar het potentieel van de verschillende gebruiksopties worden hieronder een aantal technische conclusie getrokken. Deze zijn mede bepaald in het werkatelier van 25 september 2008. Daarbij is met name ingegaan op de “nieuwe” gebruiksopties. Olie- en gaswinning zijn daarbij min of meer als randvoorwaarde meegenomen.

### **Groot potentieel geothermie**

Geothermie is een duurzame gebruiksoptie die in nagenoeg alle delen van de drie de provincies toegepast kan worden. Er ligt met name een kans rond de grote steden en de nieuwbouw locaties voor zowel woningbouw als glastuinbouw. Op deze locaties komen vraag en aanbod samen. Daarbij wordt een grote energievraag gekoppeld aan het potentieel van geothermie in de ondergrond. Op termijn liggen er ook kansen voor grootschalige renovaties van bestaande woningbouw.

### **Kansen voor elektriciteit uit geothermie**

Een interessante kans voor verduurzaming ligt in de mogelijkheid om gecombineerd elektriciteit op te wekken en warmte te leveren uit geothermische warmte. Technisch zijn er nog een aantal onderzoeksvragen waarbij met name het rendement van de elektriciteitsopwekking uit lagere temperatuur warmte een belangrijk punt is. Inmiddels wordt gewerkt aan de voorbereiding van een proefinstallatie voor elektriciteitsopwekking uit geothermie op Terschelling.

### **Mogelijkheden opslag van gas en CO<sub>2</sub>**

Voor zowel gasopslag als voor CO<sub>2</sub>-opslag ligt er een enorm potentieel in de (lege) gasvelden en zoutcavernes in de drie noordelijke provincies.

Voor gasopslag geldt dat er verschillende opties zijn:

- **piekopslag** om vraag en aanbod op de korte termijn (dag/nacht) op elkaar af te stemmen. Mogelijkheden hiervoor zijn opslag in de kleinere gasvelden en het opslaan in zoutcavernes;
- **seizoensopslag** om vraag en aanbod op de langere termijn (zomer/winter) af te stemmen. Hiervoor zijn vooral de kleinere en middelgrote gasvelden geschikt.
- **strategische gasopslag** waarbij strategische reserves worden aangelegd voor langere tijd (> 10 jaar). Hiervoor kunnen (middel)grote gasvelden worden gebruikt. Dit type opslag sluit aan bij de ideeën over de zogenaamde gasrotonde in Nederland.

Voor CO<sub>2</sub>-opslag wordt door de industrie met name gefocust op het afvangen en transporteren van grote hoeveelheden CO<sub>2</sub> naar de middelgrote en grote gasvelden.

### **Zoutcavernes geschikt voor opslag**

Zoutcavernes bieden goede mogelijkheden voor het opslaan van perslucht (=elektriciteit), gas en afval. De technische mogelijkheden worden daarbij sterk bepaald door de configuratie van de caverne. Bestaande cavernes zijn niet of nauwelijks geschikt voor de voorgestelde (duurzame) opties. Verder gelden voor het opslaan van afval strikte juridische eisen waarbij het opgeslagen afval terugneembaar moet zijn. Dit is in het geval van de zoutcavernes niet evident. De toepassing van bijvoorbeeld perslucht opslag draagt bij aan het oplossen van de landelijke problematiek van het afstemmen van vraag en aanbod in het elektriciteitsnet en is daarmee een zeer interessante optie.

### 4.3 Aanbevelingen

De Technische Potentieelstudie Diepe Ondergrond Noord-Nederland betreft een eerste verkenning van de mogelijkheden die de diepe ondergrond biedt. Op basis van een technische analyse en nadere bestudering van de gebruiksopties blijkt dat er grote kansen liggen. Om deze kansen te benutten zal de visie vertaald moeten worden in bestuurlijke en politieke randvoorwaarden. Hierin kan duidelijk worden welke kansen prioriteit zouden moeten krijgen voor een sterke (strategische) positie van Noord-Nederland. Deze stap kan door de werkgroep in samenwerking met SNN en de provincies verder vorm gegeven worden.

Daarnaast kan in volgende stappen verder ingezoomd worden op interessante technieken. Een aantal gebruiksopties betreft relatief nieuwe technieken die zowel op technisch als op organisatie/proces-vlak nog verder ontwikkeld moeten worden. Verdere samenwerking op locatie of gebiedsniveau biedt de mogelijkheid om van elkaar te leren en zorgt voor een grotere slagkracht. Via vervolgonderzoek kan de haalbaarheid bepaald worden met betrekking tot de bijdrage aan de doelstellingen in het Energieakkoord.

Een concrete suggestie is gedaan om voor grote geothermische projecten in bijvoorbeeld Leeuwarden, Groningen en Assen de samenwerking te zoeken. Dat zou bijvoorbeeld kunnen resulteren in het aanvragen van een Europese subsidie om de proceskant in gezamenlijkheid vorm te geven.