

Princetonlaan 6
3584 CB Utrecht
Postbus 80015
3508 TA Utrecht

www.tno.nl

T +31 88 866 42 56
F +31 88 866 44 75
infodesk@tno.nl

TNO-rapport

TNO-060-UT-2011-00725

Mogelijke alternatieven voor ondergrondse opslag van gas in de zoutkoepel Pieterburen.

Datum	16 mei 2011
Auteur(s)	Drs. G. Remmelts
Exemplaarnummer	
Oplage	
Aantal pagina's	23 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen	
Opdrachtgever	Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie
Projectnaam	
Projectnummer	034.24591/01.01

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, foto-kopie, 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 opdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belang-hebbenden is toegestaan.

© 2011 TNO

Bijlage(n)

A Rock-mechanical appraisal on the positioning of caverns in a salt dome and safety distances between Gas Storage Caverns

Inhoud

1	Inleiding	3
1.1	Vraagstelling	3
1.2	Gasopslag in de context van de geomechanische eigenschappen van steenzout.....	4
1.3	Ruimtegebruik cavernen voor gasopslag	5
1.4	Vergunning aanvraag EDF	6
1.5	Beschrijving selectiecriteria en randvoorwaarden	7
2	Inventarisatie en karakterisatie van zoutvoorkomens.....	9
2.1	Inventarisatie van zoutvoorkomens binnen de provincies Friesland, Groningen en Drenthe ...	9
2.2	Beschikbare ruimte voor cavernes in de geselecteerde zoutkoepels	10
2.3	Evaluatie beschikbare boorgatgegevens	12
2.4	Evaluatie seismische data	13
2.5	Niet-mijnbouw aspecten	14
2.6	Bespreken van de resultaten.....	17
3	Conclusie.....	19
4	Ondertekening	21

Bijlage(n)

A Rock-mechanical appraisal on the positioning of caverns in a salt dome and safety distances between Gas Storage Caverns

1 Inleiding

Op verzoek van het ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie (EL&I) is onderzocht wat vanuit geotechnisch oogpunt de mogelijke alternatieven zijn voor ondergrondse gasopslag in de zoutkoepel Pieterburen. Aan EDF is een opsporingsvergunning voor zout verleend. EDF wil met de opsporingsvergunning onderzoeken of de zoutkoepel van Pieterburen geschikt is voor ondergrondse gasopslag.

Ondergrondse gasopslag in zoutkoepels vindt plaats in cavernes die worden uitgelopen in de zoutlagen. Wanneer de caverne gereed is, kan er aardgas in worden geïnjecteerd voor (tijdelijke) opslag dat later kan worden teruggewonnen. De capaciteit van de opslag wordt uitgedrukt in het volume aan aardgas dat kan worden opgeslagen en in de snelheid waarmee het gas kan worden geproduceerd (uitzendcapaciteit). Afhankelijk van het doel van de caverne en het daarbij behorende business plan zullen hieraan eisen worden gesteld. Het zout dat bij het uitlogingsproces wordt geproduceerd dient te worden afgevoerd hetgeen een wezenlijk onderdeel van de logistiek is. Tenslotte zullen er ten behoeve van de ondergrondse opslag faciliteiten nodig zijn aan het oppervlak die de gasstromen, het injecteren, terugwinnen en eventueel behandelen mogelijk maken.

TNO-AGE (Adviesgroep Economische Zaken) heeft zich bij de evaluatie van mogelijke alternatieven vooral beperkt tot de ondergrond. Hierbij is een generieke aanpak gekozen met de eigenschappen van de zoutkoepel Pieterburen als referentie. Hierbij dient te worden opgemerkt dat in deze fase alleen kan worden bepaald of een zoutkoepel in principe geschikt is. Om een definitieve uitspraak te doen over geschiktheid, is meer kennis nodig over de samenstelling en de mechanische gesteente-eigenschappen van de zoutkoepel. Een deel van deze kennis dient juist in het kader van de opsporingsvergunning vergaard te worden. Daarnaast zal de specifieke business case van EDF voor het project bepalend zijn. Omdat TNO-AGE geen business-model of plan van eisen voor de activiteiten van EDF ter beschikking heeft, kan daar geen verdere detaillering van de evaluatie aan worden ontleend.

Voor wat betreft de consequenties van ondergrondse gasopslag aan het aardoppervlak beperkt deze rapportage zich tot het presenteren van kaarten met de mogelijke opslaglocaties in combinatie met een aantal kenmerken op maaiveldniveau: de infrastructuur van waterwegen, gastransport- en hoogspanningsleidingen, het landgebruik, de natuurgebieden en de begrenzing van het Waddengebied. Aan deze kaartbeelden worden verder geen conclusies verbonden.

In dit hoofdstuk wordt kort de vraagstelling voor het onderzoek toegelicht. Vervolgens worden de geo-mechanische eigenschappen van steenzout beschreven om inzichtelijk te maken hoe en waarom er bepaald criteria worden toegepast. Tenslotte worden de belangrijkste feiten uit de vergunningaanvraag van EDF vermeld.

1.1 Vraagstelling

EDF heeft voor een gebied bij Pieterburen een opsporingsvergunning in het kader van de Mijnbouwwet aangevraagd ten einde een ondergrondse gasopslagfaciliteit aan te leggen in de zich daar in de ondergrond bevindende zoutkoepel. Het ministerie van EL&I heeft TNO-AGE gevraagd welke locaties in Noord-Nederland mogelijk een alternatief zouden kunnen vormen voor de aanleg van de door EDF geplande ondergrondse gasopslag.

1.2 Gasopslag in de context van de geomechanische eigenschappen van steenzout.

Inleiding

Gasopslag (eigenlijk 'buffering') in zoutcavernes wordt wereldwijd op vele plaatsen toegepast. De doelmatigheid van opslag in steenzout is algemeen erkend, vanwege de ondoorlaatbaarheid en de visco-plastische eigenschappen van steenzout (Europese standaard voor gasopslag BS EN 1918-3 uit 1998).

Hieronder volgt een beknopt overzicht van randvoorwaarden, die – vooral om geomechanische redenen – worden toegepast op de aanleg van cavernes in zoutkoepels ten behoeve van gasopslag.

Dieptebereik

De diepteligging wordt in de praktijk bepaald door een compromis tussen:

- niet te ondiep: hoe ondieper de caveerne, des te lager de maximaal mogelijke opslagdruk. Dit heeft een negatieve invloed op de economie van het project, omdat de snelheid waarmee gas kan worden geleverd (uitzendcapaciteit) en het werkgasvolume van de opslag afnemen met afnemende druk.
- niet te diep: hoe dieper de caveerne is gelegen, des te dieper de boorgaten, hetgeen extra kosten met zich meebrengt. Daarnaast neemt de convergentiesnelheid van steenzout toe met de diepte (verderop nader toegelicht).

Dit heeft er toe geleid dat verreweg de meeste gasbuffers in zoutcavernes zijn en worden aangelegd op diepten tussen de 1000 en 1500 meter. Uitzonderingen ondieper komen wel voor; het gaat dan meestal om relatief kleine cavernes. Diepere gevallen komen niet of nauwelijks voor.

EDF heeft in haar aanvraag geen informatie gegeven over haar 'business case'. Het is ons dan ook niet bekend, welke randvoorwaarden EDF – op grond van b.v. werkgas volume of uitzendcapaciteit respectievelijk het aantal cavernes en de dimensies van de cavernes - heeft verbonden heeft gesteld bij het zoeken naar geschikte zoutstructuren. Slechts uit het gegeven, dat men wil exploreren dieper dan de al bestaande boring Pieterburen-1 (einddiepte ca. 900 meter) en het feit dat de diepste *casing* wordt voorzien op een diepte van bijna 1200 meter, hebben wij geconcludeerd, dat EDF waarschijnlijk zoekt in het diepte-interval van 1000 tot 1500 meter, met voorkeur voor het interval 1200 tot 1500 meter.

Geometrie en volume¹

Diepe zoutcavernes hebben doorgaans een langgerekte cilindrische vorm, met een hoogte van enkele honderden meters (tot wel 600 meter hoogte bij een diameter van 30 tot 35 meter in het geval van Etzel). Een dergelijke geometrie wordt gekozen vanwege zijn grote stabiliteit. Volumina per caveerne bedragen typisch 300.000 tot 500.000 m³ met uitschieters naar 1,88 mln.m³ (West Hackberry K6).

Meer bol- of peervormige cavernes worden aangelegd in het dieptebereik van 500 – 1000 meter. Daar waar de zoutlaag een beperkte dikte heeft, worden ook wel klokvormige cavernes gemaakt (voorbeeld: Etrez in Frankrijk, hoogte ca. 100 meter, diameter ca. 50 meter, met een volume tussen 100.000 en 200.000 m³).

¹ [Ref.: Gebirgsmechanischer Entwurf und Felderfahrungen im Salzkavernenbau , K-H Lux, Ferdinand Enke Verlag Stuttgart, 1984].

Lange termijn stabiliteit

Steenzout heeft de speciale materiaaleigenschap om onder verschillspanningen te gaan 'kruipen'. In het geval van een caveerne in steenzout, waarin de druk lager is dan de gesteentedruk in het omringende steenzoutlichaam, zal het steenzout de caveerne gaan dichtdrukken. Dit proces heet 'convergentie'. De kruipsnelheid van steenzout neemt vrij snel toe met de diepte, omdat 1) het kruipproces sterk temperatuur-afhankelijk is en 2) de verschillspanningen op grotere diepte i.h.a. groter zijn. Een caveerne op een diepte van circa 3000 meter zou binnen 1 tot 2 jaar grotendeels verdwenen zijn, indien niet voortdurend zout zou worden gewonnen of de druk in de caveerne dicht bij de gesteentedruk zou worden gehouden. Gasopslag op die diepte is daarom praktisch niet uitvoerbaar.

Convergentie stelt dus een limiet aan de diepte waarop gasopslag in zoutcavernes haalbaar is.

Korte termijn stabiliteit

Korte termijn wil in dit verband zeggen: gedurende een typische injectie-uitzend cyclus van een gasopslag. Steenzout vormt een zeer goed afsluitend systeem voor de inhoud van een opslagcaveerne. Voorwaarde is wel, dat de druk in de caveerne een marge houdt met de gesteentedruk. Internationaal worden verschillende grenzen gesteld aan die maximale cavernedruk.

1.3 Ruimtegebruik caveerne voor gasopslag

Vanuit veiligheidsoogmerk dienen het dak en de wanden van een caveerne sterk genoeg te zijn. Bij een enkele caveerne gaat het om de dikte van de wanden tot het aangrenzende gesteente, bij meerdere cavernes om de dikte van de wand tussen de verschillende cavernes.

Voor het bepalen van de minimale dikte van de wanden tussen verschillende cavernes is een formule opgesteld aan de hand van praktijkervaring en numerieke modellen. Deze relatie is diepteafhankelijk (zie bijlage A). Een caveerne met een doorsnede van 90 meter zou een wanddikte van 160 tot 210 meter moeten hebben op respectievelijk 1000 en 1500 meter diepte.

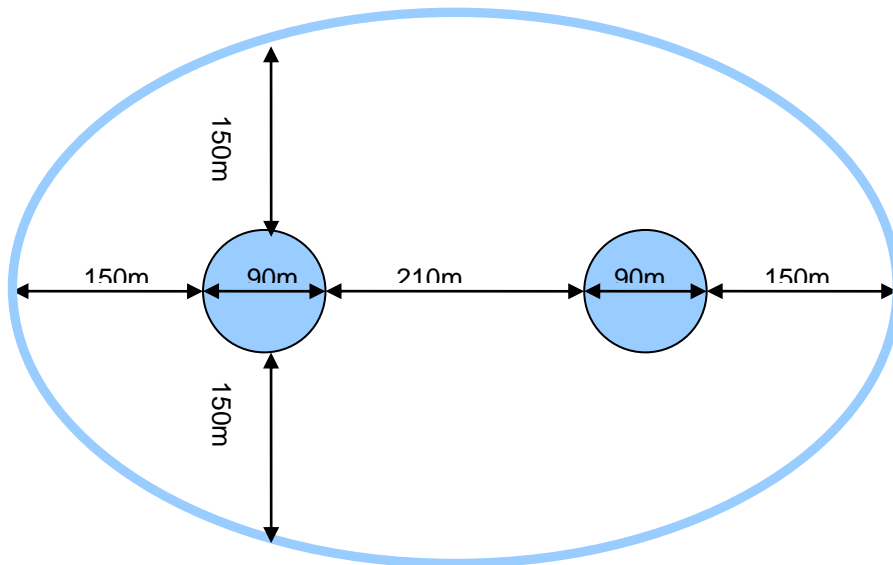
De afstand van de caveerne tot de flank van de zoutkoepel moet volgens de Duitse regelgeving² minimaal 150 meter bedragen (ABVO § 224). Dit is gebaseerd op ervaring opgedaan bij de constructie van gangenstelsels van zoutmijnen in zoutkoepel en bij verschillende oplossingsmijnbouw projecten. De redenen hiervoor zijn:

- een mogelijke afname van minimale spanning langs de periferie van de zoutkoepel omdat de flank zich gedraagt als grens tussen het zout en het aanpalend gesteente,
- een toenemende waarschijnlijkheid dat er kaliumlagen en of anhydriet- of carbonaatlagen voorkomen langs de rand van een zoutstructuur; zulke lagen kunnen de homogeniteit en de sterkte van een structuur beïnvloeden en problemen veroorzaken bij het uitloggen van de caveerne,
- niet specifiek hydraulische en hydrogeologische omstandigheden veroorzaakt door stroombanen van pekkel of formatiewater langs de flank.

Voor een enkelvoudige caveerne op een diepte tussen de 1000 en 1500 meter en een doorsnede van 90 meter, zou minimaal een zoutlichaam met een doorsnede van 390 meter nodig zijn. Wanneer er meerdere cavernes met een doorsnede van 90 meter naast elkaar zouden worden gebouwd moet er minimaal 150 meter voor de afstand naar de flank van de

² „Allgemeine Bergverordnung“ (ABVO) of Lower Saxony

koepel, 210 meter tussen de cavernes en wederom 150 m naar de flank van de koepel in acht worden genomen. Dit resulteert in 790 meter in de richting door de twee cavernes en 390 meter in de richting daar dwars op.



Het hierboven beschreven ruimtegebruik heeft er toe geleid dat de mogelijk geschikte zoutkoepels zullen worden vergeleken op basis van het beschikbare zoutvolume binnen het opslag interval van 1000m tot 1500m –NAP. Hierbij wordt, omdat het aantal en grootte van de gewenste cavernes nog niet bekend zijn, de beschikbare ruimte in de zoutkoepels vergeleken met de beschikbare ruimte in de koepel Pieterburen.

1.4 Vergunning aanvraag EDF

EDF heeft een opsporingsvergunning aangevraagd voor het gebied rondom de zoutstructuur Pieterburen. Hieronder volgt een overzicht van de relevante delen uit de geologisch studie³

Het aanvragen van een opsporingsvergunning impliceert dat EDF momenteel meer gegevens wil verzamelen alvorens men kan vaststellen of de plannen om een ondergrondse gasopslag te realiseren daadwerkelijk kunnen worden uitgevoerd. Hierbij zal EDF zich in de exploratiefase vooral richten op het volume, de samenstelling en de mechanische integriteit van het steenzout.

Ter voorbereiding van de aanvraag van de vergunning heeft EDF seismische *surveys* uit gebieden rondom de zoutstructuren Ternaard, Kollum en Pieterburen bestudeerd. Hieruit is de zoutstructuur Pieterburen door EDF geselecteerd. EDF vermeldt in haar aanvraag geen criteria die bij deze keuze een rol hebben gespeeld.

Het belangrijkste doel van de seismische interpretaties was het vaststellen van de diepte van de bovenzijde van het zout. Op basis van deze kartering zijn de zoutvolumes van de zoutkoepel vastgesteld tot een diepte van maximaal 2000 m (inclusief een zekerheidsindicatie: low case en high case).

³ Annex 4 Geological report / Inventory, Vergunningaanvraag. EDF – Gas Divisie, januari 2010

In het document bij de aanvraag wordt nog niet gesproken over het aantal en de afmetingen van cavernes.

Mede op basis van bestaande boorgatgegevens (Pieterburen 1, PBN-01) stelt EDF dat:

- De structuur Pieterburen voldoende steenzout bevat om de geplande opslag (UGS) te herbergen, De ontwikkeling van de gasopslagfaciliteiten op voldoende afstand van de Waddenzeedijk kan plaatsvinden,
- Gemiddeld 15% onoplosbare bestanddelen aanwezig zijn in het aangeboorde traject van de zoutkoepel (tot 900m - NAP). Dit is gebaseerd op de boorgatmetingen (en een zgn. ELAN simulatie).
- De boring Pieterburen-01 in het aangeboorde traject een verstoorde zoutsequentie laat zien (tot 900 m - NAP). De kwaliteit van het voor UGS beoogde interval wordt door deze boring niet bevestigd (boring is hiervoor niet diep genoeg).
- De gewoonlijk vrijwel pure en massieve Z2 sequentie van het Zechstein begint vanaf de bodem van de boring PBN-01 (900 meter diepte), maar om kennis te nemen van het diepere traject is een nieuwe exploratieboring nodig.
- Het mogelijk voorkomen van kalium/magnesiumzouten, anhydriet- of carbonaatbanken en kleilagen vormt een risico.. Zulke lagen kunnen met name in het jongste Zechstein voorkomen.
- Een maximale werkdruk van 200 bar kan worden gerealiseerd, bij een opslag dieper dan 1100m (onderkant van de gecementeerde putverbuizing / casing voet) er van uitgaande dat de caveerne tot 85% van de minimum gesteentesterkte kan worden gevuld. Hierbij wordt een lithologische gradiënt van 2,15 bar per 10 meter aangehouden.

1.5 Beschrijving selectiecriteria en randvoorwaarden

Mede op bovenstaande toelichting van het geomechanische gedrag van steenzout en de eisen die worden gesteld aan een zoutcaverne is een aantal criteria opgesteld om de mogelijke alternatieven voor de ondergrondse gasopslaglocatie in de zoutkoepel bij Pieterburen te identificeren:

- Locatie binnen de provincies Groningen, Drenthe of Friesland (Noord-Nederland)
- Aanwezigheid van zoutafzettingen/zoutkoepel
 - Ligging tussen 1000 en 1500 m diepte (- NAP)
 - Dikte minimaal 300 m
 - Voldoende zoutvolume/grootte (relatief t.o.v. zoutkoepel Pieterburen)
 - Geen aanwijzingen dat zoutsamenstelling onvoldoende is van kwaliteit (met name gebaseerd op boorgatgegevens)
 - Geen aanwijzingen voor de aanwezigheid van anhydriet- of carbonaatbanken, zogenaamde 'Zechstein floaters' (met name gebaseerd op seismische gegevens)
- Locatie bevindt zich niet binnen bestaande winningsvergunningen voor zout.

Naast bovengenoemde selectiecriteria is er een aantal randvoorwaarden en beperkingen van toepassing.

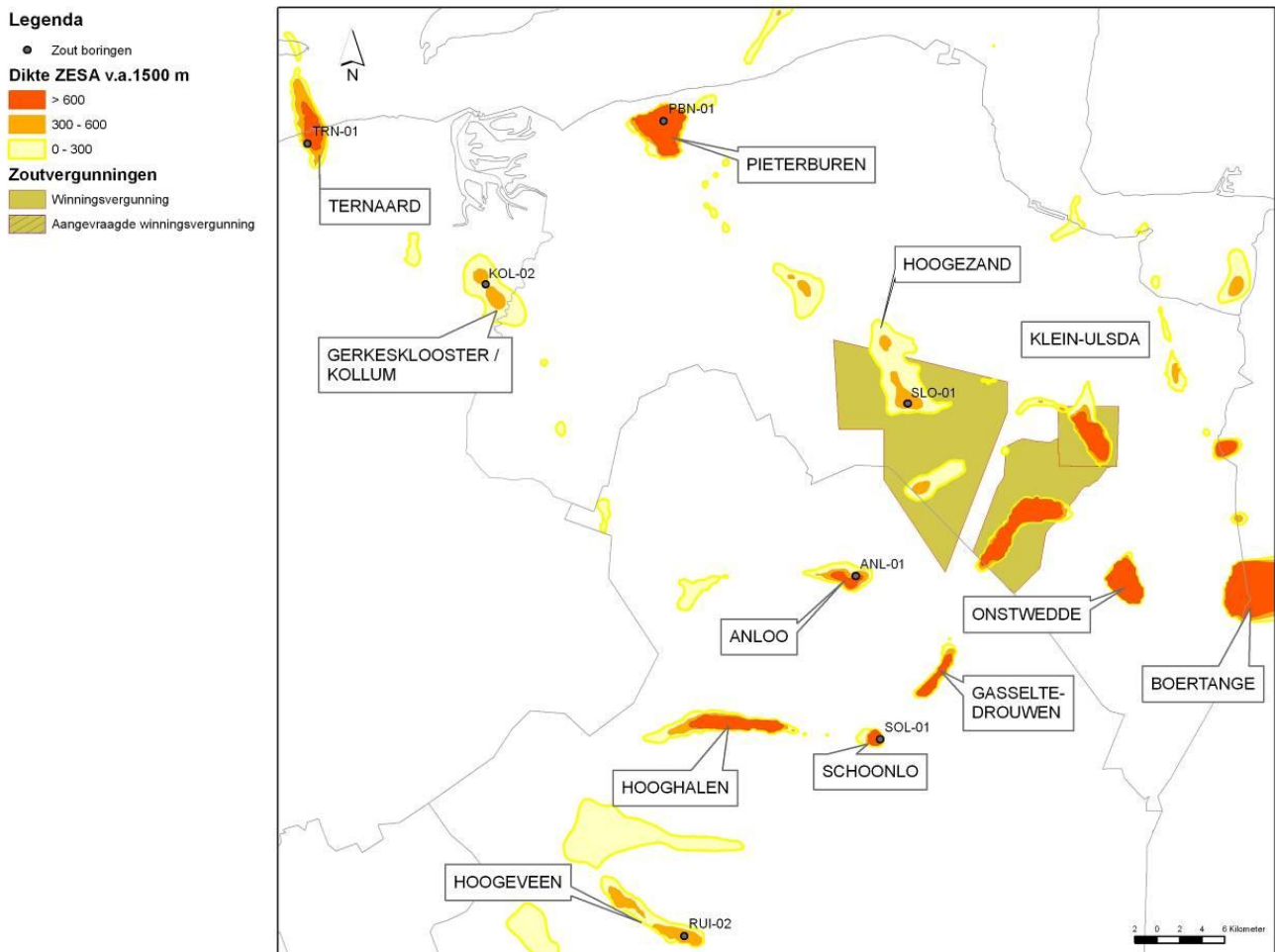
- De evaluatie heeft betrekking op mogelijke alternatieven, dat wil zeggen dat de definitieve geschiktheid pas kan worden aangetoond na aanvullend detailonderzoek. Er is momenteel van geen van de mogelijke locaties voldoende (detail)informatie beschikbaar om een definitieve uitspraak omtrent de geschiktheid te doen. De voorliggende plannen van EDF bevinden zich eveneens in een exploratiefase. Pas na het uitvoeren van nadere studie en een exploratieboring zal kunnen worden vastgesteld of de keuze van EDF voor Pieterburen ook technisch-economisch haalbaar lijkt.
- De evaluatie richt zich op de mogelijkheid om cavernes aan te leggen in een zoutvoorkomen (voldoende zoutvolume en geschikte samenstelling binnen het gewenste diepte-interval). Dit is vanuit de optiek van de mijnbouwwet. Operationele aspecten zoals de aanleg van de caverne (d.m.v. het uitloggen van het zout), de (detail)vorm van de cavernes, de afwerking van de boorgaten worden niet onderscheidend geacht voor de locatiekeuze.
- De mogelijke geschiktheid van de alternatieve locaties wordt niet getoetst op de impact van de oppervlakte faciliteiten, veiligheidsaspecten en eventuele milieu- en andere vormen. Wel wordt, zonder daar conclusies aan te verbinden, op een aantal punten in de vorm van kaartmateriaal informatie hierover verstrekt.

2 Inventarisatie en karakterisatie van zoutvoorkomens

2.1 Inventarisatie van zoutvoorkomens binnen de provincies Friesland, Groningen en Drenthe

Om vast te stellen op welke locaties het steenzout in de ondergrond in voldoende mate en onder geschikte omstandigheden aanwezig is, is gebruik gemaakt van een geografisch informatie systeem (GIS). Als eerste stap is vastgesteld waar zoutlagen voorkomen op een diepte tussen de 1000 en 1500 m diepte (- NAP) binnen het zoekgebied van de drie noordelijke provincies (Groningen, Drenthe en Friesland). De keuze van dit diepte-interval heeft te maken met de stabiliteit van het zout en is nader toegelicht in de paragraaf over de geomechanische eigenschappen van steenzout. Als tweede stap is een selectie gemaakt van die gebieden waarbij de dikte van het zout binnen dit interval minimaal 300m bedraagt. Hoewel EDF in haar vergunningaanvraag nog geen uitspraak doet over de omvang van de aan te leggen cavernes, is in dit onderzoek uitgegaan van gangbare afmetingen. 300 m zoutdikte voor de caveerne en het dakgesteente wordt hierbij als een minimum gezien.

De zoutvoorkomens gelegen binnen al verleende winningsvergunningen voor zout (Veendam, Adolf van Nassau (inclusief de uitbreiding) en Barradeel) komen als vanzelfsprekend niet in aanmerking voor EDF en vormen daarom geen alternatief.



Figuur 1. Zoutkoepels in Noord Nederland. Aangegeven is de dikte van het zout dat zich ondieper dan 1500m –NAP bevindt. Tevens is aangegeven welke gebieden al zijn vergund, zoutkoepels binnen deze gebieden komen niet als alternatief in aanmerking.

Van de zoutvoorkomens die aan bovengenoemde criteria voldoen, is het beschikbare zoutvolume vergeleken met dat van de zoutkoepel Pieterburen. Omdat EDF geen melding maakt van de afmetingen en het aantal gewenste cavernes, is uitgegaan van het feit dat de koepel Pieterburen aan de wensen voldoet. De mogelijke alternatieve locaties kunnen dan een relatief waardeoordeel krijgen op basis van het beschikbare zoutvolume in Pieterburen.

Figuur 1 geeft de locatie van de zoutvoorkomens weer die aan bovengenoemde criteria voldoen. Hoewel het zoekgebied de drie noordelijke provincies beslaat, is met het oog op de presentatie alleen dat gebied weergegeven waarin relevante zoutstructuren voorkomen. Die bevinden zich niet in het westelijk deel van Friesland.

De onderstaande zoutkoepels voldoen aan de bovengenoemde criteria:

1	Pieterburen
2	Ternaard
3	Gerkesklooster*
4	Klein-Ulsda
5	Hoogezand
6	Anloo
7	Onstwedde
8	Boertange (NL)
9	Hooghalen
10	Schoonloo
11	Gasselte-Drouwen
12	Hoogeveen

2.2 Beschikbare ruimte voor cavernes in de geselecteerde zoutkoepels

Beschikbare ruimte voor cavernes in de zoutkoepels

Per zoutkoepel is met behulp van een geografisch informatiesysteem (GIS) een maat voor de beschikbare ruimte bepaald.

Hierbij is als volgt te werk gegaan:

- Voor elke koepel is er van uitgegaan dat de zoutcaverne(s) voor gasopslag worden aangelegd met een verticale wand en een hoogte van minimaal 300 m en maximaal 500 m.
- De cavernes worden aangelegd op een diepte tussen de 1000 en 1500 m –NAP.
- Het in de koepel aanwezige zout binnen het gewenste interval is geschikt voor de aanleg van cavernes.

Om een indruk te krijgen van de beschikbare ruimte is de oppervlakte van de doorsnede van de zoutkoepel vastgesteld op 1000 m diepte (voor de cavernes met de maximale hoogte van 500 m) en op 1200 m diepte (voor de cavernes met de minimale hoogte van 300m). Voor de zoutkoepel van Boertange is alleen het oppervlakte binnen het Nederlandse grondgebied meegeteld (dit is ca 30% van de totale omvang van de zoutkoepel). In het geval van de Ternaard zoutkoepel is er van uitgegaan dat alleen het deel onder het vasteland in aanmerking komt voor de aanleg van cavernes. Het deel onder de Waddenzee is buiten beschouwing gelaten.

Voor de constructie van de zoutcavernes is langs de rand van het berekende oppervlak een veiligheidszone van 150 m in mindering gebracht. De resulterende oppervlakten zijn een maat voor het aantal cavernes dat in een bepaalde koepel kunnen worden aangelegd. Let wel, dit is een eerste indicatie om de koepels te kunnen vergelijken. Uiteindelijk zal locatie-

specifiek onderzoek moeten worden gedaan naar de wijze van de configuratie van cavernes die de benutting van de koepel optimaliseert.

Nr	Naam	Oppervlak (miljoen m ²) op 1000 m diepte	Oppervlak t.o.v. Pieterburen (%)	Oppervlak (miljoen m ²) op 1200 m diepte	Oppervlak t.o.v. Pieterburen (%)
1	Pieterburen	12.73		11.81	
2	Ternaard (Alleen onder land)	2.05	16	3.01	24
3	Gerkesklooster*	0.03	0	2.20	19
4	Klein-Ulsda	0.00	0	0.24	2
5	Hoogezand	0.06	0	3.10	26
6	Anloo	1.51	12	2.98	25
7	Onstwedde	6.64	52	6.95	59
8	Boertange (NL)	6.47	51	6.80	58
9	Hooghalen	5.45	43	7.25	61
10	Schoonloo	0.82	6	0.97	8
11	Gasselte-Drouwen	1.62	13	2.26	19
12	Hoogeveen	0.32	3	3.76	32

* Gerkesklooster wordt in de vergunningaanvraag van EDF 'Kollum' genoemd

Tabel 1. Oppervlakte van de horizontale snijvlak met de zoutkoepels op 1000 en 1200 m. Hierbij is de veiligheidszone aan de buitenzijde van de koepel in mindering gebracht. In rood zijn de oppervlakken van minder dan 1 miljoen m² weergegeven.

Uit berekeningen blijkt dat, uitgaande van een cavernediameter van 90 m, een wanddikte van 200 m en een hexagonaal cavernepatroon, 2 cavernes op ca. 100.000 m² passen. Dat zou betekenen dat de zoutkoepel van Pieterburen theoretisch geschikt is voor tientallen cavernes. Het is waarschijnlijk dat het door EDF gewenste aantal lager zal liggen. In Zuidwending bijvoorbeeld, zijn momenteel 10 cavernes gepland op een oppervlakte van ca. 1 bij 1,5 km (1,5 miljoen m²). In Etrez (Frankrijk) zijn 18 operationele cavernes binnen hetzelfde complex aangelegd.

Dit betekent dat de meeste zoutkoepels van een dusdanige omvang zijn, dat gasopslag met meerdere cavernes is te realiseren. Pieterburen is wel met afstand de grootste zoutkoepel. Koepels met een oppervlak van minder dan 1 miljoen m² (op een diepte van 1000m) zijn beperkt in hun mogelijkheden (in rood weergegeven in de tabel). Dit laatste geldt met name voor Klein Ulsda. Gerkesklooster (door EDF Kollum genoemd) en Hoogezand hebben een dikte van minder dan 300 m binnen het gewenste interval van 1000 – 1500m. De afmeting van de doorsnede op 1000 m door de koepels van Anloo en Gasselte Drouwen is vergelijkbaar met het oppervlaktesbeslag van de UGS te Zuidwending. Dit betekent dat hier weinig speling zou zijn voor het realiseren van een vergelijkbare faciliteit. Ternaard is net wat groter terwijl de overige koepels (Onstwedde, Boertange en Hooghalen) duidelijk groter zijn.

De afmeting van de doorsneden op 1200 m diepte zijn over het algemeen groter dan die op 1000m diepte. Hoogeveen, die op 1000m diepte waarschijnlijk te klein is, zou op 1200 m diepte mogelijk groot genoeg zijn. Daarentegen zullen er, gezien de afgenomen beschikbare hoogte (1200 – 1500 m), meer cavernes nodig zijn voor een vergelijkbare opslagcapaciteit.

Detailonderzoek zal moeten uitwijzen of welke koepels in aanmerking kunnen komen voor voldoende opslagcapaciteit in cavernes van de gewenste afmetingen.

2.3 Evaluatie beschikbare boorgatgegevens

Zeven van de hierboven geselecteerde zoutvoorkomens zijn (gedeeltelijk) doorboord (zie figuur 1). Alleen de boring Pieterburen-01 is indertijd gezet als exploratieboring in het zout en heeft slechts een deel van de zoutopeenvolging doorboord. De overige boringen (Ternaard-01, Kollumerland-01, Slochteren-01, Anloo-01, Schoonloo-01 en Ruinen-02) zijn alle gezet voor de exploratie van koolwaterstoffen. Hiervan hebben de boringen Ruinen-02 (1954) en Schoonloo-01 (1946) slechts een deel van het zoutpakket doorboord. Schoonloo-01 is net als Pieterburen-01 minder dan 1000m diep.

Boorgatgegevens kunnen bestaan uit verschillende meetresultaten en gesteentemonsters (boorgruis of gesteentekernen). Zij geven informatie over de samenstelling van het zout. Bij voorkeur is dit zo zuiver mogelijk steenzout (NaCl) zonder intervallen van K-Mg-zouten of anhydriet- of carbonaatbanken. De onzuiverheden hebben een ander geomechanisch gedrag. Dit kan invloed hebben op het aanleggen van de caveerne doordat het oplosgedrag verschilt, of tijdens de bedrijfsperiode doordat het kruipgedrag anders is.

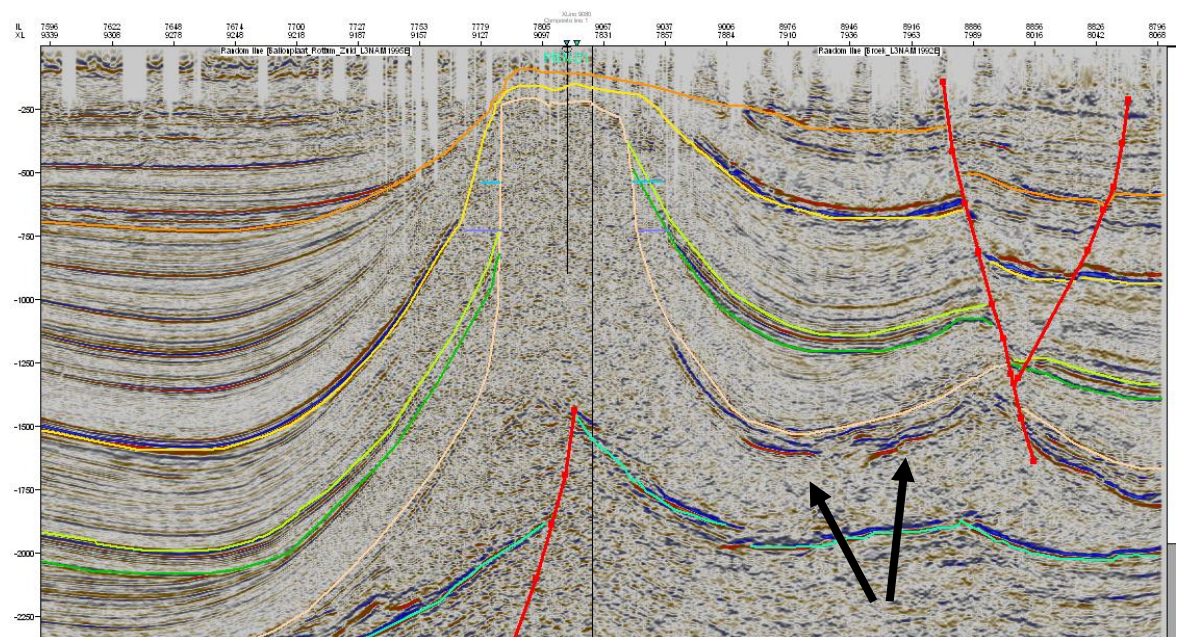
De boringen die het diepte-interval van 1000-1500 m hebben doorboord hebben de volgende resultaten opgeleverd:

- Pieterburen-01: is indertijd gezet als exploratieboring in het zout. De totale diepte is slechts 900 m, hierdoor kunnen geen uitspraken worden gedaan over de samenstelling van het zout in de koepel.
- Schoonloo-01: is eveneens minder dan 1000 m diep, hierdoor kunnen geen uitspraken worden gedaan over de samenstelling van het zout in de koepel.
- Ternaard-01: het gehele traject tussen 1000 en 1500 m bestaat voornamelijk uit steenzout en lijkt geschikt voor de aanleg van cavernes.
- Kollumerland-01 (Gerkesklooster/Kollum): Het Zechstein 3 zout zou eventueel in aanmerking komen met een dikte van meer dan 300 m en het bereik tussen 1170 – 1594 m. Het traject tot 1500 bestaat echter voor meer dan 40% uit polyhaliet hetgeen de geschiktheid negatief beïnvloedt. Zechstein 2 zout (ZEZ2) valt in zijn geheel buiten het boogde bereik.
- Slochteren-01 (Koepel Hoogezand): Vanaf 1350 m komt vrij zuiver zout voor met enkele polyhaliet lagen.. Mogelijkheden voor caveernebouw beperken zich tot een diepte groter dan 1350 m.
- Anloo-01: het traject van 1000 – 1500 m is op basis van de boorgatgegevens een geschikt alternatief.
- Ruinen-02 (Koepel Hoogeveen): voornamelijk steenzout aangeboord vanaf 1009 m (daarboven ligt een Anhydrietbank). Deze gegevens zijn geen aanleiding de zoutkoepel als alternatief uit te sluiten.

2.4 Evaluatie seismische data

Met seismische data wordt in dit verband bedoeld verticale profielen verkregen met behulp van de reflectie seismische methode, die vanwege verschillen in gesteente-eigenschappen een beeld geven van de structuren in de diepe ondergrond (figuur 2).

Waarnemingen op de seismische profielen geven in de zoutlagen weinig detail informatie. Wel is met enige zekerheid de externe structuur (omvang) vast te stellen van het zoutlichaam en is te zien of er dikke anhydriet- of carbonaatbanken (zg. 'Zechstein floaters') voorkomen in de structuur.



Figuur 2. Seismisch profiel door de diepe ondergrond. Met kleuren zijn de verschillende laag grenzen weergegeven, met rood de breuken. De zwarte pijlen wijzen op zg. Zechstein floaters..

De aanwezigheid van deze anhydriet- of carbonaatbanken is om een aantal redenen ongewenst. In de meeste gevallen in Nederland vormen de *floaters* een risico bij het boren. De Z3 carbonaatbanken kunnen onder significant hogere druk staan (tot lithostatische druk). De drukken zijn moeilijk voorspelbaar, waardoor ze bij het plannen van een boring zoveel mogelijk worden vermeden. Daarnaast lossen anhydriet- of carbonaatbanken niet op bij de aanleg van een caveerne, waardoor dat deel van de zoutkoepel ongeschikt is. Tenslotte kunnen de banken doordat ze doorlatend zijn voor gas een evacuatieroute vormen waardoor de integriteit van de afsluitende zoutlaag kan worden verstoord.

Op basis van de seismische waarnemingen kunnen kanttekeningen worden geplaatst bij de koepel Gerkesklooster, gezien de hoge interne seismische reflectiviteit en de grote breuk langs de flank is dit mogelijk een minder voor de hand liggende keus. Onstwedde, Hooghalen, Schoonloo, Gasselte Drauwen en Hoogeveen zouden op basis van de huidige seismische profielen minder goed scoren omdat hier mogelijk *floaters* of andere lithologische contrasten aanwezig zijn. Hoewel geen van de zoutkoepels in deze fase als ongeschikt kan worden aangemerkt, zal een nadere meer gedetailleerde seismische evaluatie van de koepels noodzakelijk zijn om uiteindelijk een geschikte locatie te kunnen selecteren.

	Zoutkoepel	Externe structuur	Seismische karakteristiek tussen 1000 en 1500 m diepte
1	Pieterburen	cirkelvormig	Transparante seismiek, geen indicatie van floaters
2	Ternaard	Langgerekt	Transparante seismiek, geen indicatie van floaters
3	Gerkesklooster*	Langgerekt, met breukcontact	Veel interne structuur, redelijke kans op aanwezigheid van floaters
4	Klein-Ulsda	ovaalvormig	Transparante seismiek, geen indicatie van floaters
5	Hoogezand	Cirkelvormig einde van grotere structuur	
6	Anloo	Langgerekt	Transparante seismiek, geen indicatie van floaters
7	Onstwedde	cirkelvormig	Chaotische reflecties, mogelijk indicatie voor lithologieafwisselingen
8	Boertange (NL)	rechthoekig	Transparante seismiek, geen indicatie van floaters
9	Hooghalen	Langgerekt, complexe structuur	Boven in de structuur mogelijk aanwijzingen voor floaters, rest van traject transparant.
10	Schoonloo	Cirkelvormig, complexe structuur	Geen duidelijke uitspraak mogelijk op basis van seismiek
11	Gasselte-Drouwen	Smal, langgerekt	Hoog reflectief mogelijk indicatie voor anhydrietbanken
12	Hoogeveen	Langgerekt	Hoog reflectief mogelijk indicatie voor anhydrietbanken

Overigens kan, indien de originele seismische data (field tapes) beschikbaar zijn, de seismische *imaging* door herbewerken van de gegevens nog verder worden verbeterd. Binnen een exploratietraject zou dit (net zo als bij olie-en gasexploratie het geval is) een waardevolle stap zijn om meer inzicht te krijgen in de interne opbouw van de zoutstructuren.

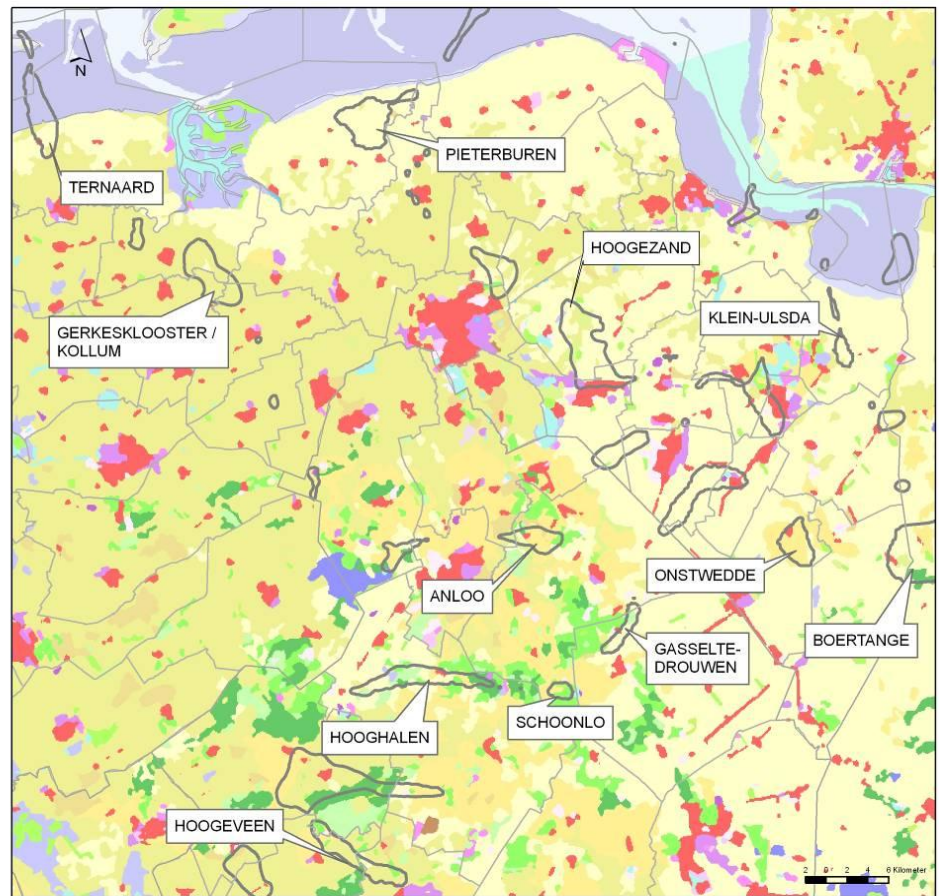
2.5 Niet-mijnbouw aspecten

Hoewel de mogelijke geschiktheid van de alternatieve locaties niet wordt getoetst op de impact van de oppervlakte faciliteiten, veiligheidsaspecten en eventuele milieu- en andere vormen van overlast worden hieronder wel twee kaarten getoond van aspecten die van invloed kunnen zijn op de selectie.

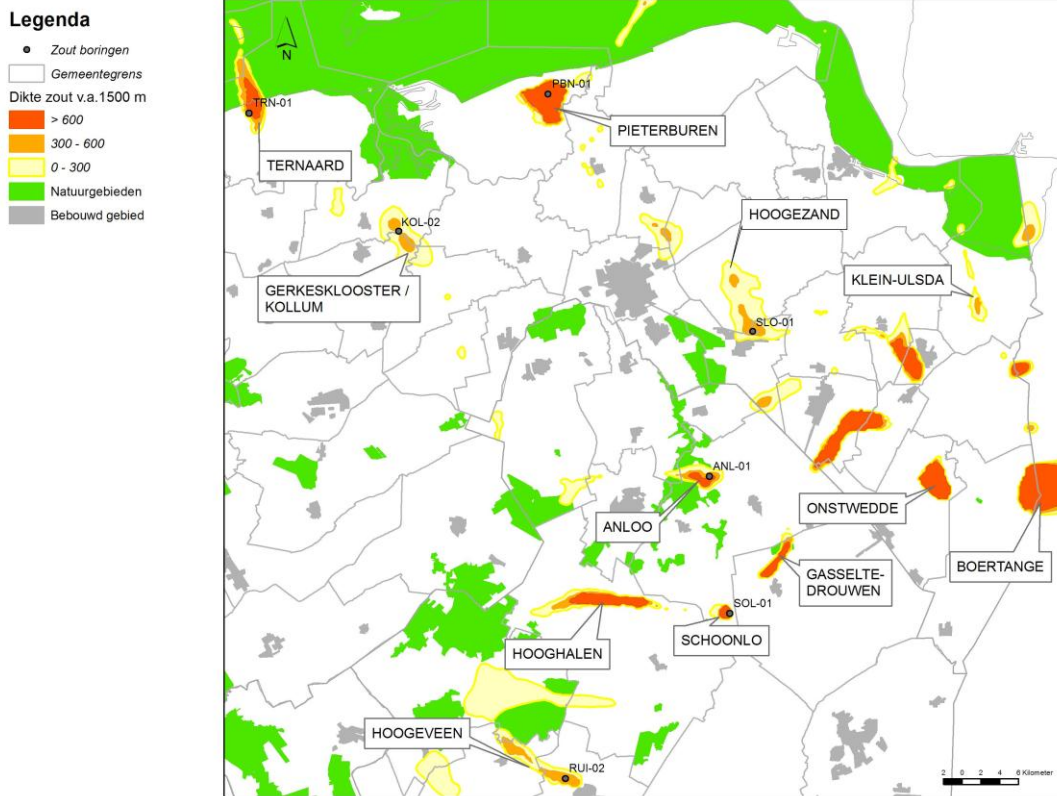
Voorbeelden hiervan zijn onder meer het landgebruik (figuur 3), natuurgebieden (vogelhabitat richtlijn) (figuur 4) en de infrastructuur (figuur 5 en 6). Landgebruik kan een indicatie zijn voor de mogelijkheden de faciliteiten in te passen in de omgeving. De infrastructuur kan met name belangrijk zijn voor de af en aanvoer van materiaal en de afvoer van de bij de aanleg van de cavernes gewonnen pekel. Bovendien is de ligging van de zoutkoepels ten opzichte van het gastransportleidingennet en de hoogspanningsleidingen van belang voor de keuze van de opslaglocatie.

Legenda

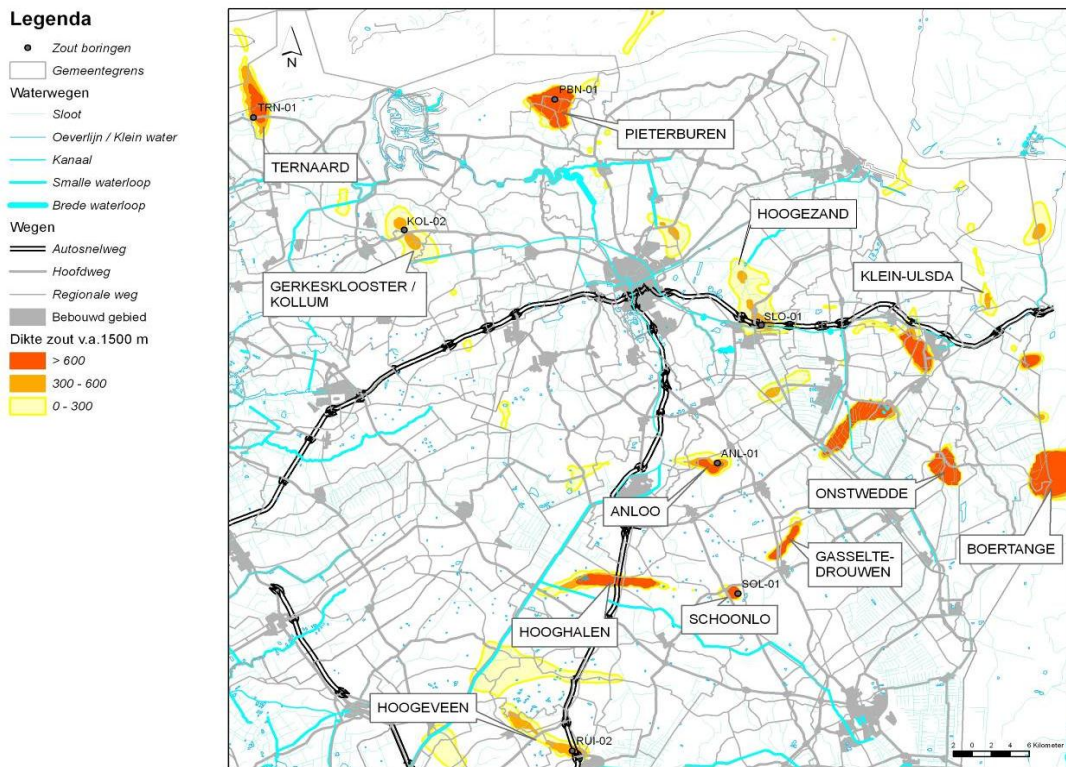
-  Gemeentegrens
-  Dikte_zout vanaf 1500 m diepte
- Landuse**
-  Continuous urban fabric
-  Discontinuous urban fabric
-  Industrial or commercial units
-  Road and rail networks and associated land
-  Port areas
-  Airports
-  Mineral extraction sites
-  Dump sites
-  Construction sites
-  Green urban areas
-  Sport and leisure facilities
-  Non-irrigated arable land
-  Vineyards
-  Fruit trees and berry plantations
-  Pastures
-  Complex cultivation patterns
-  Land principally occupied by agriculture, with significant areas of natural vegetation
-  Broad-leaved forest
-  Coniferous forest
-  Mixed forest
-  Natural grasslands
-  Moors and heathland
-  Transitional woodland-shrub
-  Beaches, dunes, sands
-  Sparsely vegetated areas
-  Inland marshes
-  Peat bogs
-  Salt marshes
-  Intertidal flats
-  Water courses
-  Water bodies
-  Estuaries
-  Sea and ocean
-  UNCLASSIFIED LAND SURFACE



Figuur 3: Locatie van de zoutkoepels geprojecteerd op het landgebruik in die regio.



Figuur 4: Zoutkoepels geprojecteerd samen met de natuurgebieden (vogelhabitat). NB locatie Anloo.



Figuur 5: Zoutkoepels geprojecteerd op de infrastructuur (weg en vaarwegen).

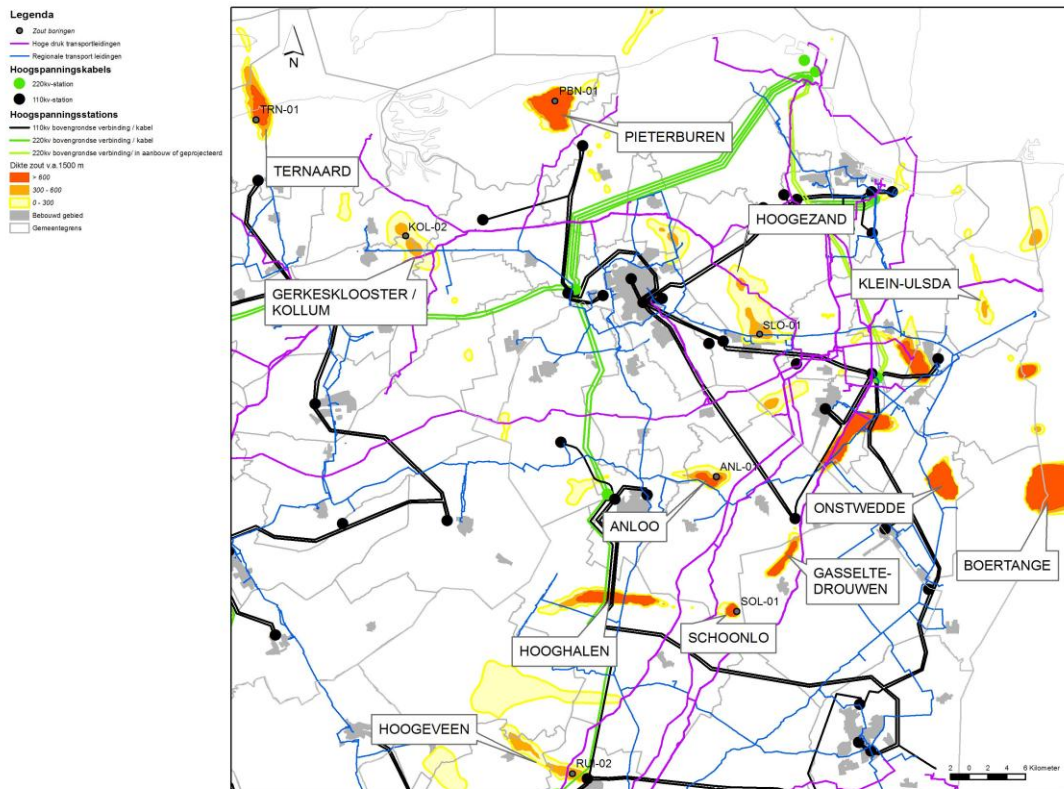


Figure 6: Zoutkoepels geprojecteerd met het gasleidingennet en de hoogspanningsleidingen.

2.6 Bespreken van de resultaten

De gasopslag in Zuidwending is een eerste voorbeeld in Nederland van opslag in zoutcavernes. Er is reeds lang zoutwinning gaande met de daarbij behorende ervaring en infrastructuur.

De beschikbare gegevens zijn nog beperkt en voornamelijk afkomstig uit de olie en gasindustrie. Deze gegevens zijn met een ander oogmerk ingewonnen en hebben daarom niet altijd de optimale geschiktheid om bij exploratie voor gasopslag te worden ingezet

Selectie op basis van de diepte en dikte van het steenzout heeft een twaalfal zoutkoepels geïdentificeerd als mogelijk alternatief voor de ondergrondse gasopslag in de koepel van Pieterburen.

Op basis van het beschikbare zoutvolume in de zoutkoepels voor de aanleg van cavernes is gebleken dat Pieterburen veruit de grootste structuur is. Kleiner, maar nog steeds voldoende voor meer dan 10 cavernes zijn de koepels van: Ternaard, Anloo, Onstwedde, Boertange, Hooghalen, Schoonloo, Gasselte-Drouwen en Hoogeveen. De koepels van Gerkesklooster en Hoogezand hebben een beperkt volume en Klein Ulsda is te klein. Gerkesklooster heeft tevens een grote breuk langs de flank die mogelijk invloed heeft op de geschiktheid.

Boorgatgegevens en seismische gegevens hebben deze selectie genuanceerd, maar de datadichtheid en kwaliteit is niet van dien aard dat hiermee locaties kunnen worden afgeschreven. Van de twaalf zoutkoepels zijn er slechts zeven aangeboord. Twee boringen zijn minder dan 1000 m diep en geven dus geen informatie over het gewenste traject (Pieterburen-01 en Schoonloo-01). Van de overige boringen geeft die in de zoutkoepel

Gerkesklooster (boring Kollumerland-01) een positief beeld. De boring Anloo-01 (koepel Anloo) geeft geen uitsluitel, de boring Sochteren-01 (Hoogezand) geeft aan dat er een beperkt diepte-interval geschikt zouden zijn.

Hoewel de huidige seismiek geen zwaarwegend argument is om de geschiktheid van een zoutkoepel aan te tonen, kan voor een aantal zoutkoepels wel worden aangegeven dat zij op basis van deze data een aantekening krijgen dat er mogelijk minder gunstige omstandigheden zijn voor gasopslag. Dit geldt voor de koepels bij Gerkesklooster (Kollum), Onstwedde, Hooghalen, Gasselte-Drouwen en Hoogeveen.

Het feit dat een aantal van de zoutkoepels boven een gasveld ligt hoeft geen belemmering te zijn voor gasopslag in het zout. Deze situatie bestaat al in Zuidwending en binnen de vergunninggebieden voor zoutwinning in de provincie Groningen zijn al meerdere cavernes aangelegd in het zout boven het Groningen gasveld.

3 Conclusie

De uitgevoerde selectie en evaluatie van zoutkoepels i.v.m. eventuele ondergrondse opslag van aardgas vormt slechts een globaal onderzoek. Het is gebaseerd op een beperkte verzameling van gegevens. Eén en ander is overeenkomstig de exploratiefase waarin deze activiteit zich momenteel bevindt.

Uitspraken over de geschiktheid dienen als indicatief te worden beschouwd. Nader onderzoek naar de samenstelling en geomechanische eigenschappen van het steenzout en de (in- en externe) structuur van de zoutkoepels zal moeten aantonen hoe de situatie in detail is. Tenslotte dienen de ondergrondse mogelijkheden ingepast te worden in de omstandigheden aan het oppervlak.

Op basis van de beschikbare dataset zijn de volgende uitspraken gedaan:

- Twaalf zoutkoepels zijn op basis van het zoutpakket tussen 1000 en 1500 m diepte geïdentificeerd als mogelijke locaties voor ondergrondse opslag van aardgas.
- Van deze twaalf geselecteerde zoutkoepels valt Klein Ulsda af vanwege het te kleine beschikbare zoutvolume. Gerkesklooster, Hoogezand, Anloo, Schoonloo, Gasselte Drouwen en Hoogeveen hebben een volume vergelijkbaar met de afmetingen van de opslag bij Zuidwending. Ternaard is net wat groter terwijl de overige zoutkoepels een significant groter beschikbaar volume hebben.

Op basis van boorgatgegevens en seismische data is deze selectie verder gedetailleerd. Opmerkingen worden geplaatst bij:

- Gerkesklooster (Kollum) en Hoogezand vanwege het relatief beperkte volume
- Gerkesklooster (Kollum), Hoogezand, Onstwedde, Schoonloo, Gasselte-Drouwen en Hoogeveen op basis van de seismische data
- Gerkesklooster (Kollum) op basis van de boorgatgegevens waarin aangetoond is dat de samenstelling van het aangeboorde zout geen zuiver steenzout is.
- Hoogezand (boring Slochteren-01) kent, op basis van de boorgegevens waarschijnlijk beperkingen in het opslagvolume.

Op basis van hun ligging kunnen de volgende opmerkingen worden geplaatst:

- Boertange ligt voor een belangrijk deel in Duits grondgebied.
- Ternaard ligt deels onder de Waddenzee.
- Anloo is gelegen onder een natuurgebied.

De conclusies zijn samengevat in de onderstaande tabel. Hierbij zijn de groengekleurde cellen aan dat de structuur op basis van deze eerste screening geen reden is om te veronderstellen dat de zoutstructuur ongeschikt is voor gasopslag, geel geeft aan dat er een voorbehoud wordt gemaakt en rood geeft aan dat de zoutkoepel niet aan de gestelde criteria voldoet. Voor alle zoutkoepels geldt dat alleen op basis van nader onderzoek een definitief oordeel kan worden geveld over de geschiktheid van de zoutkoepel voor gasopslag

Nr	Naam	Volume	Seismiek	Boorgat	Opmerking
1	Pieterburen			<1000 m	
2	Ternaard*				Waddenzee
3	Gerkesklooster**				
4	Klein-Ulsda				
5	Hoogezand				
6	Anloo				Natuurgebied
7	Onstwedde				
8	Boertange (NL)***				
9	Hooghalen				
10	Schoonloo			<1000 m	
11	Gasselte-Drouwen				
12	Hoogeveen				

Tabel 3.1 Samenvatting van de conclusies

* Ternaard is deels gelegen onder de Waddenzee, in deze evaluatie is alleen dat deel onder het vaste land betrokken.

** Gerkesklooster wordt in de vergunningaanvraag van EDF 'Kollum' genoemd

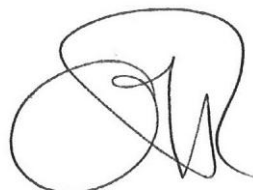
*** Boertange is deels gelegen onder Duits grondgebied, in deze evaluatie is alleen dat deel gelegen onder Nederlands grondgebied betrokken.

4 Ondertekening

Utrecht, 16 mei 2011

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'B.M. Schroot', with a long horizontal flourish underneath.

Drs. B.M. Schroot
Afdelingshoofd Adviesgroep Economische Zaken

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'G. Remmelts', with a large circular flourish at the beginning.

Drs. G. Remmelts
Auteur

A Rock-mechanical appraisal on the positioning of caverns in a salt dome and safety distances between Gas Storage Caverns

(Reference: Rock-mechanical Appraisal on the Positioning of additional Caverns in the Zuidwending Salt Dome and Safety Distances between Gas Storage Caverns (IfG - Institut für Gebirgsmechanik GmbH).

To calculate the safety distance between gas storage caverns a number equations has been found to apply. These have been derived from real world examples as well as in numerical modelling:

$$\frac{A_{SYS}}{A_K} = 1.2 + \frac{H}{H_*}$$

The required pillar zone A_{PZ} surrounding a gas storage cavern depends on the caverns cross section and the relevant depth as follows:

$$\frac{A_{PZ}}{A_K} = 0.2 + \frac{H}{H_*}$$

For the two equations above

A_K being the cavern cross section from a circle around the maximum diameter in the relevant depth,

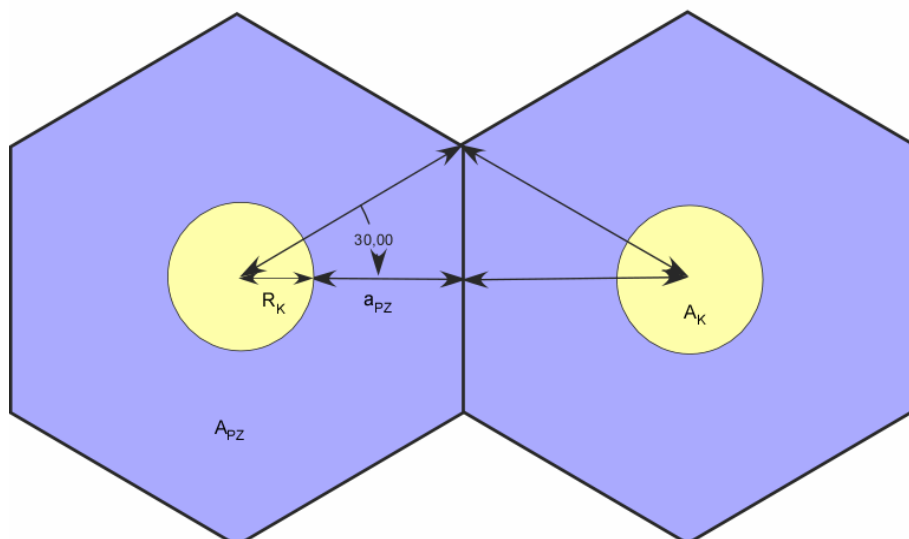
A_{PZ} being the effected cross sectional area (required pillar zone surrounding the cavern),

A_{SYS} being the system cross section (i.e. cavern cross sectional area + pillar),

H_* being an empirically determined parameter ($H_* = 135$ m),

H being the depth.

Figure 1. Definition of terms related to a hexagonal grid



$$R_K^2 = (A_K / \pi)$$

$$A_{SYS} = A_K + A_{PZ} = 6 * (R_K + a_{PZ})^2 * \tan 30^\circ$$

Assuming a cavern field with the closest configuration of adjacent caverns, i.e. in the form of a hexagonal grid, the required width of the pillar zone (being the distance between the cavern wall and the outer margin of the surrounding pillar zone A_{PZ}) can be calculated by:

$$(R_K + a_{PZ})^2 \cdot 6 \cdot \text{tg}30^\circ = \left(1,2 + \frac{H}{H_*}\right) \cdot A_K$$

$$\text{with } A_K = \pi \cdot R_K^2 \quad : \quad a_{PZ} = R_K \cdot \left[\sqrt{1,09 + \frac{H}{149\text{m}}} - 1 \right].$$

(For definition of terms see Fig. 1)