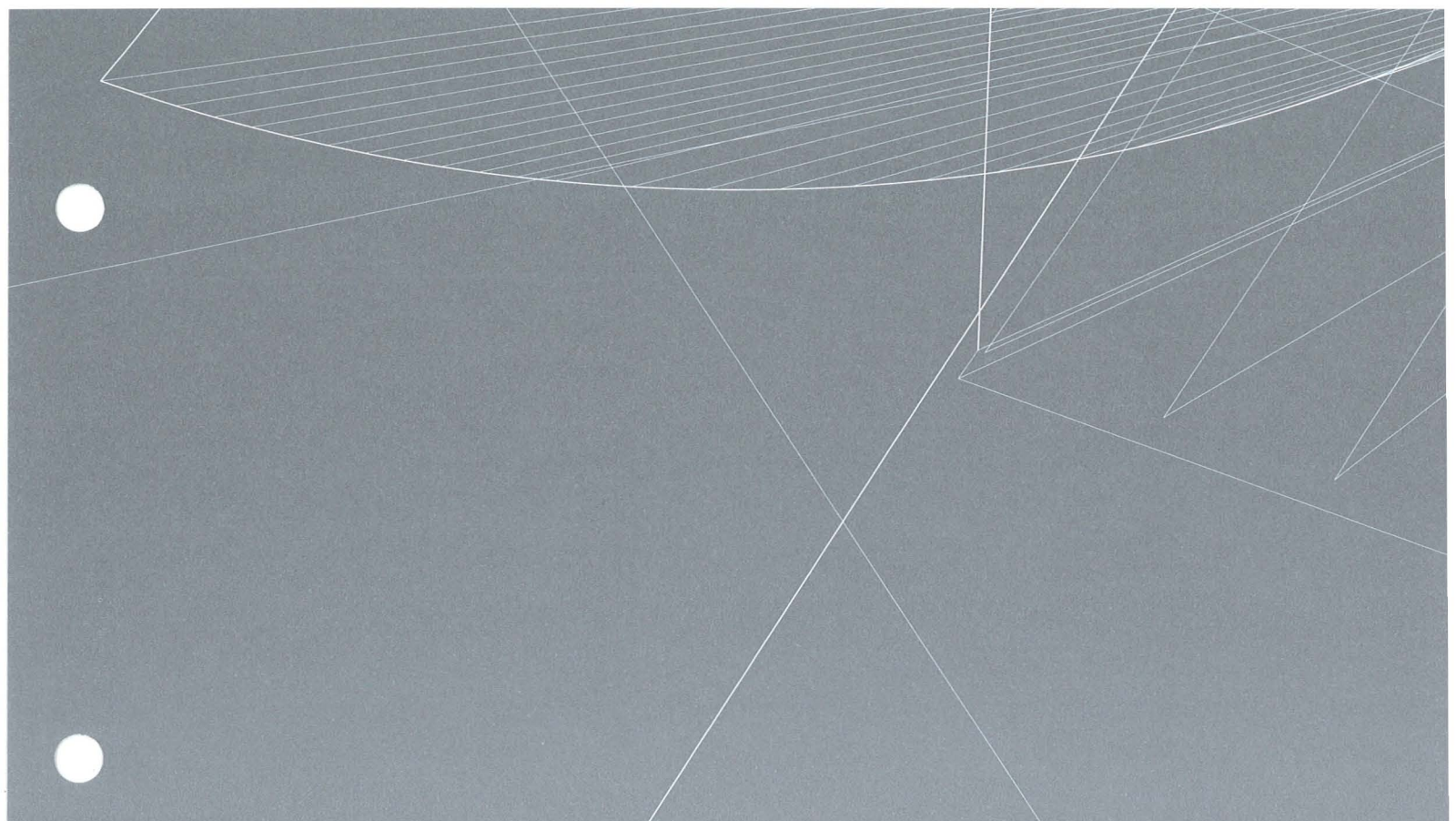




Deelrapport 3: Achtergrond informatie

Factsheets voor gebruiksfuncties en geologie in Drenthe

Provincie Drenthe

15 april 2010

Eindrapport

9V3788



ROYAL HASKONING

thinking in
all dimensions

Chopinlaan 12
Postbus 8064
9702 KB Groningen
+31 (0)50 521 42 14 Telefoon
+31 (0)50 526 14 53 Fax
info@groningen.royalhaskoning.com E-mail
www.royalhaskoning.com Internet
Arnhem 09122561 KvK

Documenttitel Deelrapport 3: Achtergrond informatie
Factsheets voor gebruiksfuncties en geologie
in Drenthe

Status Eindrapport
Datum 15 april 2010

Projectnummer 9V3788
Opdrachtgever Provincie Drenthe
Referentie 9V3788/R00003/IHA/Gron

Auteur(s) drs. I. Hans
Collegiale toets drs. I. Hans
Vrijgegeven door drs. E.Th. Holleman
Datum/paraaf 15/4/2010 B. A. P. J.

INHOUDSOPGAVE

	Blz.
1 FACTSHEET WKO OPEN SYSTEMEN	3
2 FACTSHEET: WKO GESLOTEN SYSTEMEN	7
3 FACTSHEET OLIE- EN GASWINNING	9
4 FACTSHEET INJECTIE FORMATIEWATER LEEG OLIE- OF GASRESERVOIR	13
5 FACTSHEET OPSLAG AARDGAS IN GASRESERVOIRS	15
6 FACTSHEET OPSLAG CO ₂ IN GASVELDEN	17
7 FACTSHEET OPSLAG GROEN GAS IN OLIE- EN GASVELDEN	21
8 FACTSHEET ZOUTWINNING	25
9 FACTSHEET GASBUFFERING ZOUTCAVERNES	27
9.1 Factsheet opslag aardgas in zoutcaverne	27
9.2 Factsheet opslag groen gas in zoutcaverne	30
9.3 Factsheet opslag perslucht in zoutcavernes	30
9.4 Factsheet opslag stikstof in zoutcavernes	32
10 FACTSHEET GEOTHERMIE	35
10.1 Warmtewinning	35
10.2 Elektriciteitsproductie	39
11 FACTSHEET OPSLAG CO ₂ IN AQUIFERS	43
12 GEOLOGIE IN DRENTHE: HET ONTSTAAN VAN DE DIEPE ONDERGROND	47

In deze bijlage worden factsheets gepresenteerd, die inhoudelijk en objectief ingaan op de verschillende gebruiksfuncties van de ondergrond. De belangrijkste kenmerken van elke gebruiksfunctie worden kort en bondig belicht. Daarbij wordt de volgende indeling, gebaseerd op het type activiteit en de bodemlaag, gehanteerd:

- *Waterlaag en contactlaag*
 - Factsheet 1: WKO open systemen
 - Factsheet 2: WKO gesloten systemen
- *Diepe ondergrond*
 - Gebruiksfuncties in reservoirs
 - Factsheet 3: Olie- en gaswinning
 - Factsheet 4: Injectie formatiewater in gasveld
 - Factsheet 5: Aardgasbuffer in gasveld
 - Factsheet 6: Opslag CO₂ in gasveld
 - Factsheet 7: Opslag biogas in gasveld
 - Gebruiksfuncties in zoutkoepels
 - Factsheet 8: Zoutwinning
 - Factsheet 9: Gasbuffering/ lucht in zoutcaverne
 - Gebruiksfuncties in diepe waterlagen (aquifers)
 - Factsheet 10: Geothermie
 - Factsheet 11: Opslag CO₂ in aquifer

Deze selectie is gebaseerd op de afbakening van gebruiksfuncties binnen het plan-MER.

De tekst in de factsheets is gebaseerd op diverse bronnen, waarvan de belangrijkste zijn:

- Potentieelstudie diepe ondergrond Noord-Nederland, TNO en IF-Technology, 2008.
- Notitie Reikwijdte en detailniveau, provincie Drenthe, 2009.
- Mondeling commentaar Royal Haskoning experts.

Overige bronnen zijn vermeld in de tekst.

Het doel van de factsheets is om een beeld te schetsen van de belangrijkste kenmerken van de gebruiksfuncties, ter illustratie bij het plan-MER. Het is nadrukkelijk *niet* de bedoeling om 100% volledig en accuraat te zijn.

Naast deze factsheets is in dit deelrapport ook een hoofdstuk opgenomen over de geologie in Drenthe (hoofdstuk 12). De tekst in dit hoofdstuk schetst het kader van het ontstaan van de diepe ondergrond over de geologische tijdschaal.

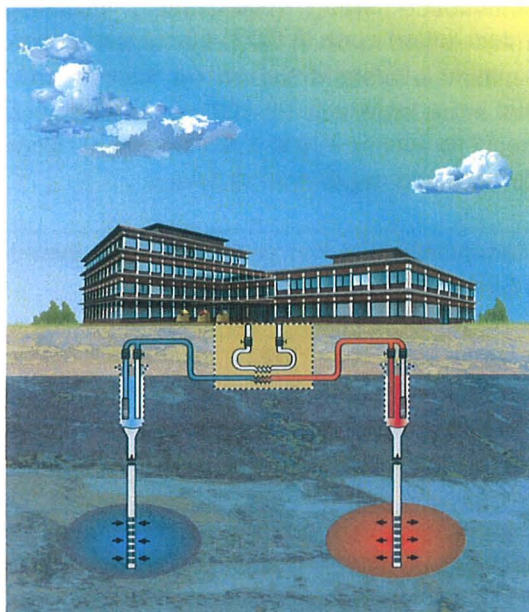
FACTSHEET WKO OPEN SYSTEMEN

Technische beschrijving	Het bodemwater verschilt enige graden in temperatuur met de temperatuur aan de oppervlakte. Het is mogelijk met behulp van warmtepompen in de winter warmte uit het grondwater te onttrekken en hiermee gebouwen te verwarmen. Omgekeerd kan in de zomer koeling plaatsvinden door warmte aan het grondwater over te dragen en dit weer naar de diepte te pompen. Op deze manier kunnen het gebruik van conventionele energiebronnen voor verwarming en koeling en de uitstoot van CO₂ verminderd worden. Daarnaast bestaat in een aantal situaties de mogelijkheid om gelijktijdig met gebruik van grondwater voor WKO een grondwaterverontreiniging te saneren. Er zijn, ten aanzien van open systemen, twee basisprincipes: • recirculatie van grondwater; • warme en koude put systeem; • monobron. Recirculatie Recirculatie is het meest eenvoudige open systeem. Er wordt gewerkt met een vaste onttrekkings- en een vaste injectiebron. Grondwater van 10 à 12 °C wordt opgepompt en naar de gebruiker geleid. Afhankelijk van de behoefte wordt aan het water warmte toegevoerd (koeling van een gebouw in de zomer) of warmte afgevoerd (verwarming in de winter, met behulp van een warmtepomp). Dit resulteert erin dat het water 's winters met circa 8 °C en 's zomers met circa 17 °C wordt geïnjecteerd. Deze temperatuurfuctuaties dempen elkaar in de bodem uit. Dit systeem is geschikt voor industriële koeling, maar kan, met name voor kleinere installaties, ook in de utiliteitsbouw aantrekkelijk zijn. Warme/ koude bron systeem Ook dit systeem maakt gebruik van twee putten, een zogenaamd doublet. 's Winters wordt grondwater uit de warme bron gepompt waarna het de warmte afgeeft aan de gebruiker, meestal via een warmtepomp. Eventueel wordt nagekoeld met een koeltoren. Het afgekoelde water (rond 7 °C) wordt vervolgens geïnjecteerd in de koude bron. 's Zomers draait dit proces (en de stromingsrichting van het grondwater) om. Water uit de koude bron wordt dan gebruikt voor koeling, waarna het met een hogere temperatuur (rond 20 °C) weer in de warme bron wordt opgeslagen. Het komt erop neer dat winterkoude wordt opgeslagen voor gebruik in de zomer en zomerwarmte voor gebruik in de winter. Het warme/koude bron systeem is energetisch iets voordeliger doch gecompliceerder dan het recirculatiesysteem. Het vindt vooral toepassing in situaties met een relatief grote koudevraag.
--------------------------------	--

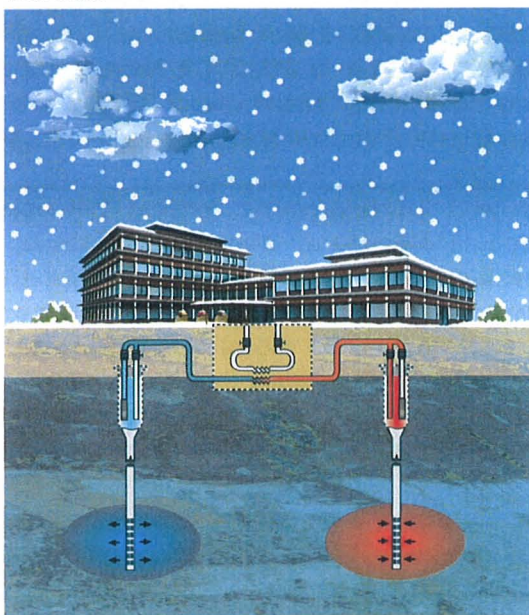
	Monobron Zoals de naam doet vermoeden, maakt een monobron WKO systeem gebruik van één put, waarin de warme en koude bron boven elkaar liggen. Een voorwaarde om een monobronuitvoering toe te passen is dat de dikte van de aquifer groot genoeg is. Zodra er in de zomer behoefte aan koeling ontstaat, wordt er uit een grondwaterbron (het koude deel) grondwater opgepompt uit de ondergrondse zandlaag (aquifer). Met dit koude grondwater kan, via een warmte wisselaar, een watercircuit, dat door het gebouw stroomt, worden gekoeld. Dit watercircuit koelt vervolgens de ventilatielucht of voedt bijvoorbeeld een plafondkoelsysteem. Het opgepompte water wordt, door de afgifte van koude, opgewarmd en vervolgens met een tweede grondwaterbron (het warme deel) weer in dezelfde zandlaag geïnjecteerd. Het warme deel kan vervolgens in de winter weer worden gebruikt voor verwarming. Het warme grondwater kan bijvoorbeeld worden benut voor voorverwarming van ventilatielucht of als warmtebron voor vloer verwarming. Het water zelf koelt dan weer af door de warmteafgifte en wordt weer geïnjecteerd in het koude deel (bron: www.forteck.nl). Toepassing Grootschalige toepassing bij woningen, utiliteit en bedrijven.
Effecten	Maaiveld Aan maaiveld zijn putdeksels waarneembaar en tevens lopen er leidingen ondergronds. In de aanlegfase zijn graaf en boorwerkzaamheden nodig. Net zoals bij een conventioneel verwarmingssysteem, geldt ook voor open WKO systemen dat er gebouwgebonden installaties nodig zijn. Ondergrond In de ondergrond worden injectie- en onttrekkingsfilters aangebracht. Bij open WKO –systemen is sprake van waterwinning en waterinjectie. Het effect van een open WKO systeem op de grondwaterstand wordt als verwaarloosbaar beschouwd, omdat de onttrekking en infiltratie vlak naast elkaar liggen en de één het effect van de ander opheft. Een effect op de stroming van het grondwater is wel mogelijk waardoor bestaande verontreinigingen verplaatst kunnen worden. Tenslotte verandert de temperatuur van het water. Om de effecten daarvan te beperken schrijft de provincie een energiebalans voor. Andere gebruiksfuncties Open WKO systemen leggen een ruimteclaim op de waterlaag. Uit de waterlaag wordt tevens water onttrokken en geïnjecteerd. Er kan dus sprake zijn van concurrentie met andere gebruiksfuncties in deze laag, zoals de winning van drinkwater.
Eenheden	Open systemen hebben over het algemeen meer vermogen dan gesloten systemen, waardoor toepassing vooral bij grotere

	warmte/koude vraag (bijvoorbeeld utiliteitsgebouwen) plaatsvindt. Gemiddeld liggen open WKO systemen op een diepte van 20 – 120 m. De minimale afstand tussen de injectie en de onttrekkingsbron ligt veelal in de orde van 50-100 meter. Debieten zijn rond de 50 – 100 m³/uur (10 m³/uur ~ 100 kW vermogen). Voor woningen zijn kleinere volumes nodig, lager dan 10 m³/uur.
Kosten/baten	De terugverdientijd van een open WKO systeem ligt veelal in de orde van 5 tot 8 jaar.
Klimaat	Het toepassen van WKO maakt de afnemer in mindere mate afhankelijk van ontwikkelingen op de energiemarkt. Er is nog wel (elektrische) energie nodig voor (warmte)pompen. WKO wordt gezien als duurzaam alternatief voor verwarming/koeling.
Schaal/potentie	Het toepassen van WKO is in Drenthe een belangrijke pijler in het klimaatbeleid. Studies tonen aan dat WKO systemen een flinke bijdrage kunnen leveren aan de CO₂-reductie doelstellingen van de provincie. Wanneer WKO wordt toegepast voor zowel woningen, bedrijven als utiliteit kan tussen de 175 en 900 kton CO₂-uitstoot vermeden worden in 2020. Dit komt overeen met 7-34% van het besparingsdoel van Drenthe voor 2020. Het overgrote deel van deze besparing komt voor rekening van open WKO systemen.
Wet- en regelgeving	Qua wet- en regelgeving omtrent WKO-systemen loopt Drenthe voorop in Nederland. Binnen de provincie is een 3D-zonemodel opgesteld, waarin duidelijk wordt in welke gebieden open- en/of gesloten WKO-systemen toegestaan zijn en wat de randvoorwaarden per systeem zijn. Dit model sluit aan op de visie van het rijk met betrekking tot WKO-beleid (het 'stoplichtmodel'). Het is de bedoeling dat het WKO beleid in het nieuwe provinciale omgevingsbeleid wordt geïmplementeerd en daarmee in 2010 van kracht gaat. Landelijk gezien is de huidige status dat het advies van de Taskforce WKO gereed is. Daaropvolgend wordt momenteel gewerkt aan het opstellen van een landelijk uitvoeringsprogramma. De verwachting is dat het landelijke WKO-beleid pas na 2010 gereed is.
Stand van zaken Drenthe 2009	Anno 2009 zijn er circa 35-40 geregistreerde open WKO systemen in Drenthe. Er zijn kaarten opgesteld met de geschiktheid van de Drentse bodem voor open WKO systemen, inclusief aangewezen restrictiegebieden.

WKO zomer



WKO winter



Bron: Provincie Drenthe

2

FACTSHEET: WKO GESLOTEN SYSTEMEN

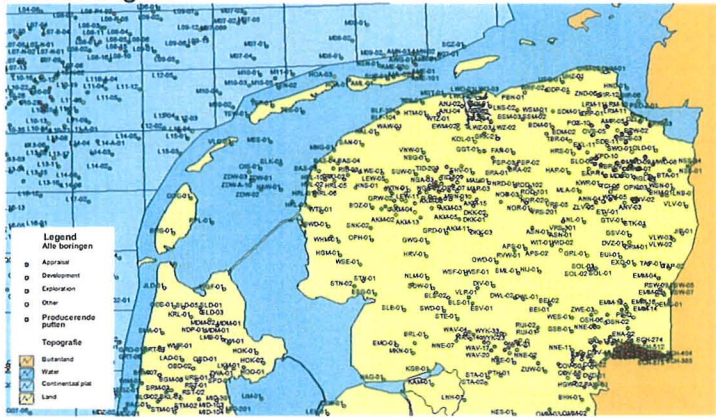
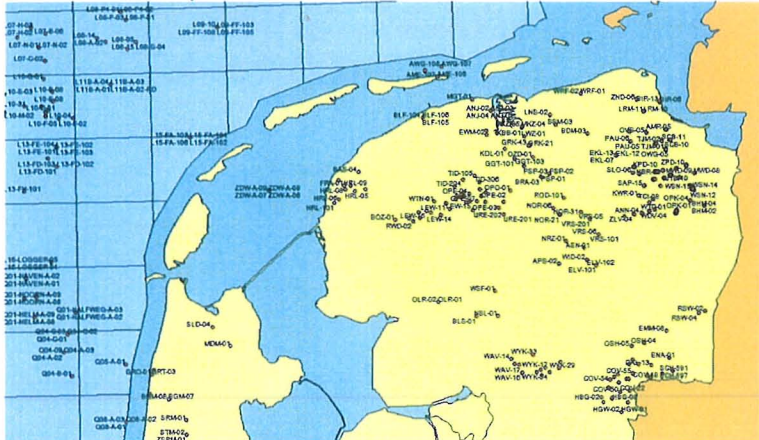
Technische beschrijving	Bij gesloten WKO systemen worden horizontale (HBWW) of verticale warmtewisselaars (VBWW) in de bodem aangebracht. Een HBWW of VBWW is een in de bodem geplaatste buis of een stelsel van buizen waarin een medium wordt rondgepompt waardoor de in de aarde opgeslagen energie kan worden onttrokken. Simpel gezegd is de werking tegenovergesteld aan de centrale verwarming. Hierbij wordt een warm medium door de buizen en radiatoren in de vertrekken gepompt waardoor deze ruimten door convectie worden verwarmd. Omgekeerd kan een gesloten WKO systeem ook koelen. In de VBWW of HBWW wordt een koud medium rondgepompt waardoor de aarde door geleiding en convectie warmte aan de VBWW of HBWW afgeeft. De HBWW of VBWW maakt deel uit van een systeem en wordt hoofdzakelijk in combinatie met een warmtepomp toegepast. Toepassing Lokaal (woning)gebruik.
Generieke effecten	Maaiveld Bij een gesloten WKO systeem moet de warmtewisselaar in de bodem geplaatst worden. Dit kan gepaard gaan met vergravingen/boringen, die vooral bij een zogenaamde warmtekolf en een horizontale warmtewisselaars vrij omvangrijk kunnen zijn. Verder lopen er ondergrondse leidingen naar een installatie. Het is niet uitgesloten dat hierdoor bodemwaarden (zoals bodemarchief en cultuurhistorische elementen) kunnen worden aangetast. Ondergrond De warmtewisselaar bevindt zich in de contactlaag of de waterlaag, afhankelijk van de diepte. Er bestaat een risico op lekkage van het medium (in de meeste gevallen is dit glycol) in de warmtewisselaar. Vooral in de waterlaag is een dergelijke lekkage onwenselijk, omdat de effecten van glycol lekkage op de ondergrond momenteel nog niet bekend zijn. Er zijn alternatieven voor glycol, zoals biologisch afbreekbare glycol of gewoon water. Echter, deze alternatieven kunnen het vermogen en de rendabiliteit van het systeem verminderen. Andere gebruiksfuncties Een gesloten WKO systeem legt een ruimteclaim op de ondergrond. De mogelijkheden voor het toepassen van andere gebruiksfuncties kunnen daardoor beïnvloed worden. Vooral de gebruiksfuncties in de waterlaag (waterwinning bijvoorbeeld) kunnen concurrerend zijn met (gesloten) WKO systemen.
Eenheden	Met betrekking tot de fysieke omvang en vermogen zijn gesloten WKO systemen over het algemeen kleiner dan open WKO systemen. Gesloten systemen worden vooral toegepast voor woningen, en in toenemende mate ook bij de utiliteit. Horizontale systemen liggen circa 2 meter onder

	maaiveld, terwijl verticale systemen gewoonlijk op circa 40 meter diepte liggen. In sommige gevallen, wanneer gebruik wordt gemaakt van een boring, kan deze diepte zelfs oplopen tot meer dan 100 meter. Per meter levert een gesloten systeem tussen 20-40 W.
Kosten/baten	Terugverdiëntijden van een gesloten WKO systeem zijn vaak hoger dan bij open systemen, en liggen tussen 10 en 15 jaar.
Klimaat	Het toepassen van WKO maakt de afnemer in mindere mate afhankelijk van ontwikkelingen op de energiemarkt. Er is nog wel (elektrische) energie nodig voor (warmte)pompen. WKO wordt gezien als duurzaam alternatief voor verwarming/koeling.
Schaal /potentie	Het toepassen van WKO is in Drenthe een belangrijke pijler in het klimaatbeleid. Studies tonen aan dat WKO systemen een flinke bijdrage kunnen leveren aan de CO₂-reductie doelstellingen van de provincie. Wanneer WKO wordt toegepast voor zowel woningen, bedrijven als utiliteit kan tussen de 175 en 900 kton CO₂-uitstoot vermeden worden in 2020. Dit komt overeen met 7-34% van het besparingsdoel van Drenthe voor 2020. De bijdrage van gesloten systemen hierin is relatief beperkt.
Wet- en regegeving	Qua wet- en regelgeving omtrent WKO-systemen loopt Drenthe voorop in Nederland. Binnen de provincie is een 3D-zonemodel opgesteld, waarin duidelijk wordt in welke gebieden open- en/of gesloten WKO-systemen toegestaan zijn en wat de randvoorwaarden per systeem zijn. Dit model sluit aan op de visie van het rijk met betrekking tot WKO-beleid (het 'stoplichtmodel'). Het is de bedoeling dat het WKO beleid in het nieuwe provinciale omgevingsbeleid wordt geïmplementeerd en daarmee in 2010 van kracht gaat. Landelijk gezien is de huidige status dat het advies van de Taskforce WKO gereed is. Daaropvolgend wordt momenteel gewerkt aan het opstellen van een landelijk uitvoeringsprogramma. De verwachting is dat het landelijke WKO-beleid pas na 2010 gereed is.
Stand van zaken Drenthe 2009	Anno 2009 zijn er circa 75-100 gesloten WKO systemen in Drenthe. Er zijn kaarten opgesteld met de geschiktheid van de Drentse bodem voor gesloten WKO systemen, inclusief aangewezen restrictiegebieden.

FACTSHEET OLIE- EN GASWINNING

Technische beschrijving	De belangrijkste delfstoffen van Nederland zijn aardgas en aardolie. 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. Olie- en gaswinning verloopt in verschillende fasen. Allereerst zal een mijnonderneming een verkenningsonderzoek doen om deze delfstoffen op te sporen. Dit seismisch onderzoek is vergelijkbaar met echoscopie. Er worden geluidsgolven opgewekt, die de aarde in worden gestuurd. Uit de weerkaatste golven kan men afleiden hoe de aardlagen zijn opgebouwd en de structuur ervan zodanig is dat er olie of gas in zitten. Vervolgens gaat men boren om er achter te komen of er inderdaad olie of gas in de grond zit. Is dit het geval, dan bekijkt men of en hoe het veld het beste ontwikkeld kan worden. Besluit men om de delfstof te gaan winnen, dan moet een productie-installatie worden gebouwd en een pijpleiding worden aangelegd. De daadwerkelijke productie kan vervolgens jaren duren. Stopt de mijnonderneming uiteindelijk de productie, dan worden de productieputten met cement gevuld en de afsluiters ontmanteld. Op land wordt dan de bodem gesaneerd en geschikt gemaakt voor andere functies. Productie-installaties op zee worden verwijderd. Ten slotte blijft er nazorg plaatsvinden om schade en hinder, bijvoorbeeld door na-ijlende bodemdaling, te monitoren (SodM).
Effecten	Maaiveld Aan maaiveld vinden verschillende stadia plaats. Alvorens de productie start moet er geboord worden en de reservoir eigenschappen moeten in kaart worden gebracht. Tijdens de productiefase wordt de winningslocatie door middel van buisleidingen aangesloten op het gasnet. Afhankelijk van de situatie bestaat een winninglocatie uit pompen (de 'jaknikkers'), compressoren, leidingen, een verwerkingsstation en soms aanvullende installaties (bijvoorbeeld bij de stoominjectie in Schoonebeek). Na de productiefase wordt de locatie weer in de oorspronkelijke staat hersteld en worden de putten afgesloten. Een bekend effect van gaswinning is bodemdaling, dat op diverse locaties in Nederland optreedt. Diepe ondergrond Door de winning van aardgas of aardolie, daalt de druk in het reservoir. Het gewicht van de bovenliggende gesteentelagen kan ervoor zorgen dat het reservoir gesteente in elkaar gedrukt wordt, wat is waar te nemen als bodemdaling en in sommige gevallen bodemtrillingen. Afhankelijk van de geologische omstandigheden kan injectie van bijvoorbeeld CO₂ of formatiewater de bodemdaling remmen of stoppen.

	Andere gebruiksfuncties Het winnen van aardgas en –olie is van groot belang. Daarom zorgt deze activiteit voor restricties op het toepassen van andere gebruiksfuncties op vergelijkbare dieptes. Dit geldt met name voor en tijdens de winningsfase. Na de winningsfase is het reservoir 'leeggeproduceerd' en vormt het een opslagbuffer voor onder andere aardgas, CO₂ en formatiewater. In feite zorgt de winning er dus voor dat, indien het reservoir aan bepaalde randvoorwaarden voldoet, het reservoir beschikbaar komt voor andere ondergrondse gebruiksfuncties.
Eenheden	De jaarlijkse productie in 2007 bedroeg 68 miljard m³ aardgas en 2,5 miljoen m³ aardolie. In Nederland en op het Nederlandse deel van het Continentaal Plat zijn in totaal zo'n 20 mijnondernemingen actief op ongeveer 800 verschillende locaties op land en zo'n 150 op zee. De winning van aardgas is echter maar voor de helft op de enorme voorraad in Groningen gericht, de rest wordt gewonnen uit zo'n 300 kleinere velden. Er is nog zo'n 1.000 miljard m³ aardgas aanwezig in het Groningen reservoir (SodM). De diepte van gas- en oliereservoirs verschilt, maar ligt tussen de 1500-4000m. De geologische aardolievoorraden onder het Nederlandse vasteland en het Nederlands deel van de Noordzee bedragen ongeveer 100 miljoen m³. De geologische aardgasvoorraad onder Nederlands grondgebied is vele malen groter dan de olievoorraad en wordt op 3.000 miljard m³ geraamd (natuurinformatie.nl).
Economie	Sinds de ontdekking in de jaren zestig van het grote gasveld in Groningen is Nederland een van de grootste aardgasproducenten ter wereld. Dit levert de Nederlandse staat miljarden op, in 2007 alleen al zo'n 13 miljard Euro, en geeft Nederland een belangrijke positie in Europa (SodM).
Klimaat	Het gebruik van zogenaamde fossiele brandstoffen zoals olie en gas wordt in verband gebracht met klimaatverandering. Deze grondstoffen worden dan ook niet gewonnen uit klimaatoverwegingen, maar uit economische belangen. Wel is het zo dat de verbranding van aardgas een minder nadelig effect voor het klimaat heeft dan olie, in andere woorden: er komt minder CO₂ per eenheid vrij bij het verbranden van aardgas dan van olie. Eenmaal leeg kunnen de reservoirs in sommige situaties weer gebruikt worden.
Schaal/beleid	De winning van olie en gas is van groot belang voor Nederland. De huidige economie is namelijk volledig ingericht op (en afhankelijk van) deze fossiele brandstoffen.
Wet- en regelgeving	Gas en olie worden al decennia lang gewonnen, waardoor het wet- en regelgevingkader duidelijk is opgebouwd. Vanaf 500m-mv is het

	ministerie van EZ bevoegd gezag. Daarboven is de provincie bevoegd gezag. De winning van olie en gas staat onder toezicht van SodM (Staatstoezicht op de Mijnen).
Stand van zaken Drenthe 2009	Na de oorlog is de winning van olie en gas in Drenthe op gang gekomen met de exploitatie van het Schoonebeeker olieveld. In Drenthe zijn vele koolwaterstof voorkomens bekend, die uiteindelijk allemaal in meer of mindere mate leeggeproduceerd zullen worden, afhankelijk van de economische haalbaarheid. De ontwikkeling van de techniek speelt hierbij ook een rol. Naar mate de energieprijzen stijgen zal het zich lonen ook de kleinere velden te exploiteren of secundaire winningsmethoden toe te passen. Een voorbeeld hiervan is de herontwikkeling door de NAM van het Schoonebeeker olieveld, waar een deel van de achtergebleven olie nu d.m.v. stoominjectie wordt gewonnen. Op termijn zal waarschijnlijk ook het oostelijk deel van het veld geëxploiteerd worden. Naast olie wordt momenteel op diverse plaatsen in Drenthe ook gas gewonnen.
	Alle boringen  Producerende putten  Bron: www.nlog.nl

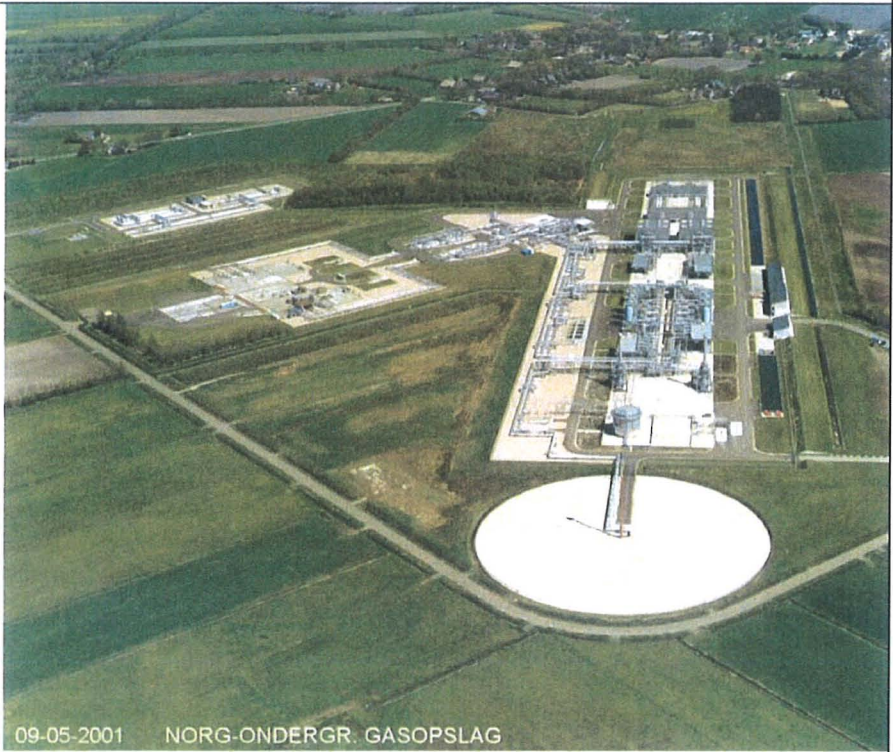
FACTSHEET INJECTIE FORMATIEWATER LEEG OLIE- OF GASRESERVOIR

Technische beschrijving	Formatiewater is water dat van nature in een gas- of oliereservoir aanwezig is. Een ander kenmerk is dat het water is dat geen deel uit maakt van de waterkringloop, omdat het ingesloten is in bijvoorbeeld gas- of olievelden. Vaak is het water ook erg zout en zitten er veel olie- en gasachtige stoffen in gemengd. Tijdens de winning van olie en gas komt formatiewater mee naar het oppervlak. Hoewel dit water op grote diepte niet als verontreinigd wordt beschouwd (het bevat immers bodemeigen stoffen), is lozing aan op het oppervlaktewater niet acceptabel. Stoffen die in de diepe ondergrond worden gezien als 'bodemeigen', kunnen een sterk verontreinigend effect hebben op het oppervlaktewater. Dit is vergelijkbaar met olie: olie is een natuurlijk product dat gewoon voorkomt in de ondergrond, terwijl lekkages van olie op het oppervlaktewater tot grootschalige natuurrampen kunnen leiden. Tijdens de winning van olie of gas komen tevens andere stoffen in het formatiewater terecht, de zogenaamde mijnbouwhulpstoffen. Een oplossing voor dit probleem is om het formatiewater te scheiden van de olie of het aardgas, en het weer terug te pompen in de diepe ondergrond. Lege olie- en gasreservoirs lenen zich uitstekend voor deze toepassing.
Effecten	Maaiveld Eerst dient het formatiewater te worden gescheiden van de olie of het aardgas. Dit gebeurt in een zogenaamde oliebehandelingsinstallatie (OBI). Via een pijpleiding wordt het water onder druk getransporteerd naar een injectielocatie, waar het de diepe ondergrond wordt ingepompt. Op de injectielocatie staan pompen en compressoren. Diepe ondergrond De druk in een leeggeproduceerd olie- of gasreservoir is relatief laag, ten opzichte van de omgevingsdruk. Injectie van water heeft zodoende invloed op de druk in het reservoir. Tevens moet rekening worden gehouden met mogelijke expansie van water, doordat het water als gevolg van de temperatuur in het reservoir op kan warmen. De complicaties van waterinjectie zijn bekend en hiermee wordt rekening gehouden in de ontwerpfase. Andere gebruiksfuncties Opslag formatiewater is permanent. Daarom wordt beslag gelegd op een opslagreservoir, dat daardoor niet meer voor andere gebruiksfuncties kan worden ingezet.
Eenheden	Eenheden voor waterinjectie verschillen per project. Uit de MER voor de oliewinning in Schoonebeek blijkt dat tussen 6.000 en 12.000 m³ formatiewater per dag wordt geïnjecteerd, waarbij de druk toeneemt van

	5 tot >400 bar.
Economie	Injectie komt voort uit het feit dat lozing van formatie op het oppervlaktewater onacceptabel is. Het formatiewater moet daarom worden gezuiverd of worden teruggebracht in de diepe ondergrond. Bij de afweging voor de keuze hoe het formatiewater wordt verwerkt, spelen kosten de belangrijkste rol.
Klimaat	Injectie van formatiewater is niet gerelateerd aan klimaatbeleid.
Schaal/beleid	Formatiewater is een bijproduct uit de olie- en gasindustrie. Het is daarom alleen van toepassing op locaties waar olie- of gaswinning plaatsvindt.
Wet- en regelgeving	Het ondergronds opslaan van formatiewater is een geaccepteerde vorm van afvalverwijdering, zoals beschreven staat in het LAP.
Stand van zaken Drenthe 2009	Momenteel wordt Drenthe geen formatiewater geïnjecteerd. Wel wordt met de herontwikkeling van het Schoonebeek-olieveld formatiewater geproduceerd. Dit water wordt getransporteerd via een pijpleiding naar Overijssel, waar het wordt geïnjecteerd en opgeslagen in leeggeproduceerd gasveld.
	 Bron: MER Schoonebeek

FACTSHEET OPSLAG AARDGAS IN GASRESERVOIRS

Technische beschrijving	Lege gasvelden, of beter uitgedrukte of leeggeproduceerde gasvelden (gasvelden zijn namelijk nooit helemaal leeg, maar de productie stopt wanneer de kosten te van winning te hoog worden) zijn niet nutteloos. De eigenschappen van deze geologische reservoirs maken het mogelijk om deze reservoirs weer te vullen met aardgas of andere stoffen. Door middel van ondergrondse aardgasopslag (dit wordt vaak afgekort als UGS; Underground Gas Storage) kan extra gas geleverd worden als de producerende velden niet aan de gewenste vraag kunnen voldoen. Het aardgas 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.
Effecten	Maaiveld De injectie van aardgas vindt plaats op een injectiefaciliteit (zoals bij Norg, in Drenthe). Dit is een complex waar alle benodigde technische installaties opgesteld staan. De mogelijkheden van gasopslag zijn, naast de technische aspecten, ook afhankelijk van de aanvoermogelijkheid van gas. Diepe ondergrond Vullen van reservoir betekent dat het weer op druk komt. Het is zaak dat de geologie van het reservoir goed in kaart wordt gebracht, om eventuele effecten van deze drukveranderingen goed te kunnen voorspellen. Andere gebruiksfuncties Toepassen UGS sluit andere gebruiksfuncties in het betreffende reservoir (tijdelijk) uit. Wanneer de gasbuffering stopt, kan het reservoir alsnog in aanmerking komen voor andere gebruiksfuncties.
Eenheden	Gezien de opslagvolumes is gasopslag in aardgasvelden vooral van toepassing op het overbruggen van verschillen in de gasvraag tussen zomer en winter (seizoensopslag). De capaciteit van deze systemen ligt in de orde van grootte van 150 miljoen m³ per dag en de diepte waarop het gas wordt opgeslagen ligt tussen de 2.500 – 4.000 m-mv.
Economie	In eerste instantie is vooral de leveringszekerheid van aardgas aan het Nederlandse volk (mogelijk ook export naar andere landen) van belang. Daarnaast vormt aardgas een belangrijke economische pijler voor Nederland.
Klimaat	Aardgas is een fossiele brandstof en strategisch erg belangrijk voor Nederland. De opslag van aardgas heeft geen betrekking op klimaatbeleid.

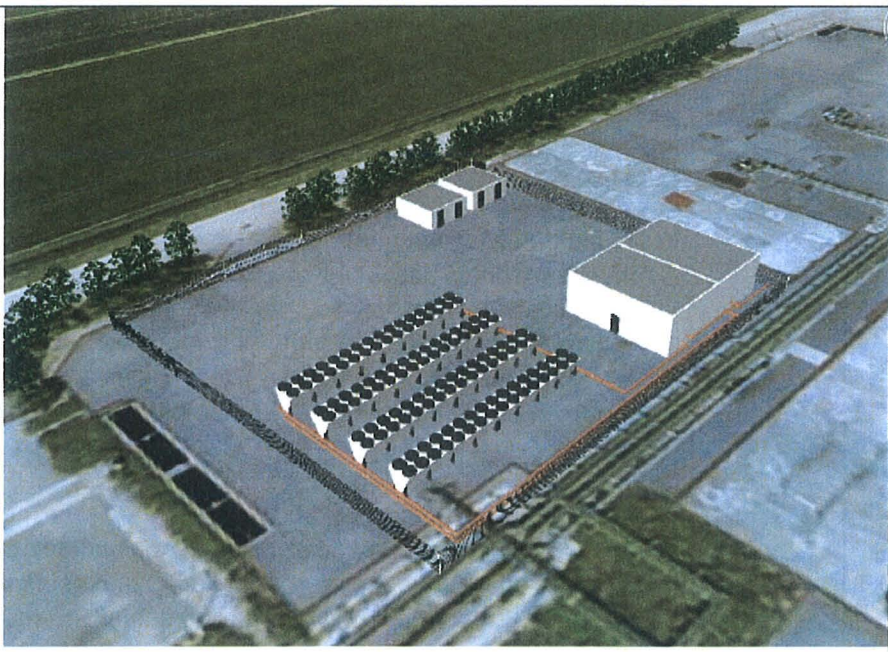
Schaal/beleid	Nederland heeft bestaande gasinfrastructuur en wil in de toekomst uitbreiden naar een Europese gasrotonde voor de distributie van aardgas. In Nederland zijn momenteel vier UGS locaties, die vanwege de seizoensbuffering van nationaal belang zijn.
Wet- en regelgeving	Voor aardgasbuffering moet de MER-procedure worden doorlopen. Er moeten diverse vergunningen worden aangevraagd.
Stand van zaken Drenthe 2009	Met de toenemende afhankelijkheid van derden voor de aanvoer van gas, zal het belang van de aanleg van strategische gasvoorraden toenemen. Op het ogenblik beschikt Nederland over vier van deze opslagen, waarvan er één, Norg/Langeloo, in Drenthe ligt. Op regionale schaal willen de noordelijke provincies binnen de oprichting van een Europese gasrotonde een eigen rol spelen.
	 09-05-2001 NORG-ONDERGR. GASOPSLAG Bron: Public opslagplan UGS Norg

FACTSHEET OPSLAG CO₂ IN GASVELDEN

Technische beschrijving	Beschrijving techniek Grote hoeveelheden geconcentreerd CO₂, bijvoorbeeld afkomstig van een elektriciteitscentrale, kunnen worden afgevangen voordat zijn worden geëmitteerd. Via een pijpleiding of schip kan het CO₂ vervolgens worden getransporteerd naar een ondergrondse opslag locatie. Hiermee wordt voorkomen dat het CO₂ in de atmosfeer terecht komt en daarmee het klimaat beïnvloed. De cyclus van afvangen, transporteren en permanent opslaan wordt ook wel CCS genoemd; Carbon Capture and Storage. Vaak wordt simpelweg CO₂-opslag gezegd, maar ook de term 'schoon fossiel' wordt gebruikt. Gezien de enorme hoeveelheden CO₂ die kunnen worden afgevangen en opgeslagen wordt CCS gezien als belangrijke tijdelijke oplossing in de geleidelijke overgang naar een duurzame energievoorziening. Opslag van CO₂ vindt bij voorkeur plaats in lege gasvelden. In Nederland zijn veel gasvelden, waarin miljoenen jaren aardgas opgesloten heeft gezeten. Ook is door de gaswinning zeer veel kennis over de velden, die ingezet kan worden bij CO₂-opslag. Als een gasveld leeg is, kan het worden gevuld met CO₂. Als het reservoir gevuld is, wordt het veld afgesloten en is het CO₂ permanent opgesloten. CCS kan ook een rol spelen bij de olie en gaswinning. Het afgevangen CO₂ wordt dan getransporteerd naar een olie- of gasveld waar nog wel olie/gas inzit, maar niet rendabel gewonnen kan worden. Het CO₂ wordt in het olie/gasveld geïnjecteerd, waardoor extra druk ontstaat. Door deze drukverhoging kan een olie- of gasveld weer nieuw leven in worden geblazen. Vooral in de Verenigde Staten en Canada wordt deze techniek (enhanced oil recovery; EOR en enhanced gas recovery; EGR) al jaren grootschalig toegepast. CCS bestaat uit een combinatie van bestaande technieken, die al jaren worden toegepast in de olie- en gasindustrie. Het nieuwe aan CCS is dus de combinatie van de technieken voor een ander doel (het opslaan van CO₂) en de beleidsmatige en juridische aspecten van het geheel.
Effecten	Maaiveld Voor CCS zijn diverse installaties nodig. Voor de afvang bij een grote CO₂ puntbron is een afvanginstallatie nodig. Transport gebeurt via ondergrondse leidingen, maar kan ook per schip. Bij een opslaglocatie zijn compressoren, pompen en putten nodig. Vanuit verschillende studies zijn de risico's van CCS aan maaiveld goed bekend. Ook met transport van CO₂ (en andere gassen) per pijpleiding is al veel ervaring, bijvoorbeeld door de OCAP-leiding in Nederland en vele kilometers CO₂-leiding in de Verenigde Staten. CO₂ is in principe een ongevaarlijk gas. We ademen het dagelijks in en het is zelfs een onmisbaar onderdeel van leven op aarde, omdat planten

	CO₂ nodig hebben om te kunnen groeien. Zoals bij iedere andere stof, geldt ook voor CO₂ dat te hoge concentraties schadelijk kunnen zijn voor de gezondheid. In tegenstelling tot aardgas is het niet brandbaar. Wel is CO₂ zwaarder dan lucht en kunnen grote hoeveelheden CO₂, onder bepaalde omstandigheden (geen wind) zuurstof verdringen in laag gelegen gebieden. Een dergelijke situatie heeft zich voorgedaan in Duitsland, waar een brandblusinstallatie niet goed functioneerde door een procedurele fout. Om dat moment was er niet genoeg wind om het CO₂ te vermengen in de lucht en werden circa 100 mensen onwel of duizelig. Een ander bekend voorbeeld deed zich voor in Kameroen, bij het Nyosmeer. Hier kwam in 1986 in zeer korte tijd een zeer grote hoeveelheid CO₂ en andere vulkanische gassen vrij als gevolg van een zogenaamde limnische eruptie; een natuurverschijnsel dat vaker voorkomt in vulkanische gebieden. Door deze ramp kwamen 1.700 mensen om. Beide voorbeelden geven aan dat CO₂ in te hoge concentraties gevaarlijk kan zijn. Hoewel de omstandigheden en oorzaken van deze voorvallen niet te vergelijken zijn met CCS, wordt vaak aan deze voorvallen gerefereerd zij daarom gebruikt als argument tegen CCS. Voor CCS geldt, net zoals bij elke andere activiteit, dat de risico's goed bekend zijn en dat er afwegingen worden gemaakt in de aanvaardbaarheid van deze risico's. Ondergrond Van nature zit er CO₂ in aardgasvelden gemengd, waarbij de concentratie verschilt van enkele procenten tot (bijna) 100%. De randvoorwaarden en reservoir eigenschappen voor veilige opslag van CO₂ zijn goed bekend. Wanneer hieraan wordt voldaan, zijn er geen effecten van CO₂ opslag op de diepe ondergrond. Net zoals elke andere activiteit, zijn er wel risico's waarmee rekening moet worden gehouden. Voor het ondergrondse deel zorgen de injectieputten naar het reservoir voor de grootste structurele verandering. CO₂ kan in kleine hoeveelheden omhoog sijpelen en zo in diep gelegen zoute watervoerende lagen terecht komen. Dit betekent dus niet dat de relatief ondiep gelegen drinkwaterlagen direct 'vervuilt' raken met grote hoeveelheden CO₂ en ondrinkbaar wordt of dat CO₂ met grote kracht uit het reservoir omhoog spuit. Andere gebruiksfuncties Opslag van CO₂ in gasvelden heeft als gevolg dat het gasveld niet voor andere gebruiksfuncties ingezet kan worden. Tevens moet rekening gehouden worden met opgeslagen CO₂, wanneer in de nabije omgeving andere gebruiksfuncties worden gepland.
Eenheden	Een van de dingen die CCS interessant maakt is de grootschaligheid. Voor een gemiddeld CCS project liggen de hoeveelheden CO₂ die worden afgevangen en opgeslagen in de ordergrootte van enkele kilotonnen tot enkele megatonnen per jaar. Om een indruk te geven:

	1 megaton (Mt) is ongeveer het gewicht van alle Nederlanders! In verband met de veiligheid en de kosteneffectiviteit wordt getracht de transportleidingen zo kort mogelijk te houden, maar in principe kunnen deze honderden kilometers lang zijn. Transport per schip is ook mogelijk. Voor kortere afstanden zijn pijpleidingen het meest geschikt en voor relatief lange afstanden kan transport per schip ook het meest voordelig zijn. Het break-even point van transport per pijpleiding en per schip ligt rond de 500 km (offshore) of 1.500 km (onshore). De gasvelden waarin CO₂ wordt opgeslagen liggen minimaal op 800m diepte, wat nodig is om het CO₂ in de gewenste dichtheid (de zogenaamde superkritische toestand) te houden. In de praktijk liggen gasvelden dieper, van 1.500 tot 4.000 meter.
Economie	Het uitstoten van teveel CO₂ heeft een nadelig effect op het klimaat en is daarom ongewenst. Europa heeft een systeem, het emissiehandelsstelsel (ETS), ingevoerd om een prijskaartje aan CO₂-uitstoot te hangen. Momenteel is de CO₂-prijs echter te laag voor CCS; voor de meeste bedrijven is het uitstoten van CO₂ naar de atmosfeer de goedkoopste optie. Om CCS van de grond te krijgen moet er dus een hogere CO₂-prijs zijn (rond de 30-40 euro wordt veelal genoemd als richtbedrag). Vanuit Europa wordt gestreefd om CCS in 2020 als commerciële techniek beschikbaar te hebben, om te kunnen voldoen aan de klimaatdoelen. Doordat het ETS deze rol (nog) niet kan vervullen, zijn subsidies nodig.
Klimaat	CCS wordt momenteel gezien als een interim oplossing voor de klimaatproblematiek, tot op grote schaal meer duurzame energiebronnen kunnen worden toegepast. Voorzien wordt, dat vanaf 2020 CO₂-opslag op industriële schaal zal gaan plaatsvinden. In het kader van het Energieakkoord Noord Nederland zijn afspraken gemaakt betreffende een eventuele realisatie van een CO₂-opslag en CO₂-emissiereductiedoelstellingen, waar mogelijk via afvang en opslag van CO₂. Wereldwijd gezien laten voorspellingen van grote internationale onderzoekscentra zien dat de energiebehoefte blijft groeien en dat fossiele brandstoffen (olie, gas en kolen) een belangrijke rol zullen blijven spelen. CCS vormt daarom een belangrijke mogelijkheid om deze fossiele bronnen te kunnen gebruiken, zonder de nadelige effecten voor het klimaat.
Schaal/beleid	CCS is een zeer belangrijke pijler in het Nederlandse klimaatbeleid. Ook buiten Nederland en zelfs buiten Europa kan CCS een belangrijke rol spelen in het terugdringen van de CO₂-uitstoot. Dit is met name interessant voor landen die afhankelijk zijn van steenkool, zoals China en India, maar ook de Verenigde Staten. Op het gebied van onderzoek en ontwikkeling, maar ook de feitelijke CO₂-opslag (Nederland als CO₂-hub voor Europees CO₂) kan Nederland een belangrijke rol spelen. Dit maakt

	de ontwikkeling van CCS in Nederland een interessante 'business-opportunity' voor alle betrokken partijen. Op lokaal niveau blijkt er in Nederland nog weinig draagvlak om CCS toe te passen. De bewoners en bestuurders nabij mogelijke opslaglocaties geven aan nog veel vragen te hebben over de veiligheid van de toepassing, zoals onder meer blijkt uit de discussies bij Barendrecht.
Wet- en regelgeving	Sinds begin 2009 zijn door de EU richtlijnen voor veilige opslag van CO₂ gepubliceerd. Deze richtlijnen worden vertaald naar Nederlandse wetgeving, onder andere voor het CO₂-opslag project in Barendrecht. Er is een opdeling in het bevoegd gezag; tot 500m-mv is de provincie bevoegd gezag, en daaronder is de mijnbouwwet van toepassing en is het Staatstoezicht op de Mijnen bevoegd gezag. Momenteel werkt het Rijk aan een Rijksvisie CO₂-opslag.
Stand van zaken Drenthe 2009	Momenteel worden de mogelijkheden van CCS in Noord-Nederland onderzocht. Dit gebeurt in een samenwerkingsverband, waar ook de provincie Drenthe bij betrokken is.
	 Impressie van opslaglocatie Barendrecht; MER Barendrecht

FACTSHEET OPSLAG GROEN GAS IN OLIE- EN GASVELDEN

In Zuid-Oost Drenthe zijn plannen voor de aanleg van een grote biovergistingsinstallatie. Hoewel het merendeel van dit groene gas direct aan het net geleverd zal worden, zal er uiteraard een buffervoorraad aanwezig moeten zijn.

Technische beschrijving	Via diverse routes kan organisch materiaal (zoals GFT-afval, mest en rioolslib) worden omgezet in biogas, wat kan worden opgewaardeerd naar groen gas. Groen gas heeft dezelfde kwaliteit als aardgas. Een voorbeeld van biogasproductie is via een vergister, waarbij organisch materiaal door microbiële afbraakprocessen wordt omgezet in (onder andere) methaangas, wat vervolgens kan worden opgevangen. Biogas, in feite dus methaangas, kan worden ingezet om groene stroom te produceren (via een WKK bijvoorbeeld), en groen gas kan aan het net geleverd worden. Tevens is het mogelijk het gas in te zetten als motorbrandstof. De productie van biogas is afhankelijk van diverse factoren, zoals het aanbod organisch materiaal, en kan dus niet altijd aansluiten op de gasvraag. Daarom is het nuttig om biogas op te kunnen slaan voor periodes wanneer de vraag er is, waarmee de opslag een soort buffering is. Net zoals bij aardgasbuffering kan biogas worden opgeslagen in leeggeproduceerde gasreservoirs. Er zit wel een verschil in de schaalgrootte, want bij de opslag van biogas zijn de volumes vele malen kleiner. Biogas wordt in een beperkte hoeveelheid geproduceerd, waardoor ook de benodigde installaties relatief klein zijn. Als gevolg is het ook niet nodig om een gasreservoir met een grote opslagcapaciteit in te zetten voor de opslag van biogas.
Effecten	Maaiveld De injectie van biogas vindt plaats op een injectiefaciliteit. Dit is een locatie waar alle benodigde technische installaties opgesteld staan, zoals compressoren en pompen. Er zullen pijpleidingen nodig zijn om het gas van de productieplaats(en) naar de injectielocatie te transporteren. Diepe ondergrond Vullen van reservoir betekent dat het weer op druk komt. Het is zaak dat de geologie van het reservoir goed in kaart wordt gebracht, om eventuele effecten van deze drukveranderingen goed te kunnen voorspellen. Bij biogas opslag zijn de volumes echter dusdanig klein dat drukveranderingen in het reservoir veel minder snel optreden dan bij aardgasbuffering. Andere gebruiksfuncties Toepassen van biogas opslag sluit andere gebruiksfuncties in het betreffende reservoir (tijdelijk) uit. Wanneer de gasbuffering stopt, kan het reservoir alsnog in aanmerking komen voor andere gebruiksfuncties.

	Echter, voor andere gebruiksfuncties is de opslagcapaciteit van het betreffende gasreservoir mogelijk te klein. Voor de opslag van CO ₂ is bijvoorbeeld een grote opslagcapaciteit vereist.
Eenheden	De hoeveelheid opgeslagen gas is direct afhankelijk van de productie van het biogas. Er kunnen meerdere productie locaties op elkaar worden aangesloten, maar het staat vast dat de volumes geïnjecteerd gas vele malen kleiner zijn dan bij aardgasbuffering. De dagelijkse productie van biogas wordt simpelweg gelimiteerd door het beperkte aanbod organisch materiaal en de beperkte omzettingssnelheid van de productie installaties (vergisters). In een brochure van SenterNovem wordt genoemd dat de gasproductie gemiddeld tussen de 50 – 200 m³/ton bedraagt [http://www.senternovem.nl/mmfiles/Energie%20uit%20uw%20reststrom en_tcm24-199497.pdf].
Economie	Opslag van biogas is vooral bedoel om beter te kunnen aansluiten op de vraag en dus op een meer efficiënte manier gebruik te maken van het geproduceerde gas.
Klimaat	Biogas is een natuurlijk product, dat als duurzaam wordt gezien. Het kan dienen als vervanging voor aardgas, waarmee het een interessante energievorm is in het kader van het klimaatbeleid.
Schaal/beleid	Nederland heeft bestaande gasinfrastructuur en wil in de toekomst uitbreiden naar een Europese gasrotonde voor de distributie van aardgas. In Nederland zijn momenteel vier UGS locaties, die vanwege de seizoensbuffering van nationaal belang zijn. Groen gas opslag heeft daarentegen een kleinschalig en lokaal karakter, maar zou aan kunnen sluiten op de gasrotonde.
Wet- en regelgeving	De wet- en regelgeving voor groen gas opslag is in grote lijnen vergelijkbaar met de opslag van aardgas.
Stand van zaken Drenthe 2009	Er wordt momenteel geen groen gas opgeslagen in Drenthe.



Vergistingsinstallatie op boerderijschaal; www.hoSt.nl

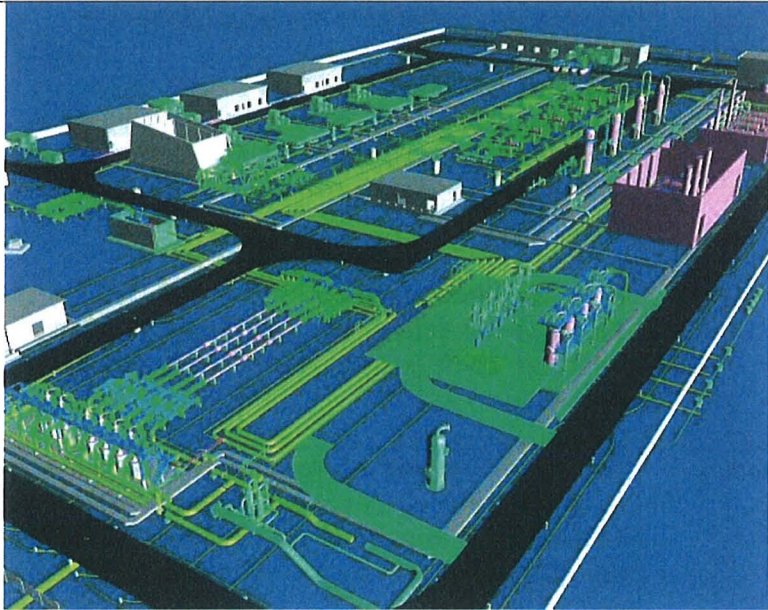
Technische beschrijving	Zout wordt onder andere gewonnen uit ondergrondse zoutkolommen, zogenaamde zoutdiapieren. Dit zijn paddestoelvormige structuren in de bodem, die uit steenzout (haliet) bestaan. Het zout wordt gewonnen door twee putten te boren en water in het zout te pompen. Het zout lost op in het water, waardoor een verzadigde pekeloplossing ontstaat. Deze vloeistof is zwaarder dan water en zakt daardoor naar de bodem van de caverne die ontstaat door de oplossing. De zwaardere vloeistof wordt vervolgens omhoog gepompt door de tweede (diepere) put. Via pekelleidingen wordt de vloeistof getransporteerd naar een indampingsinstallatie, waar het zout verder gewonnen kan worden.
Effecten	Maaiveld Op de plek van de winning staan zouthuisjes of torens. In de vorm van pekkel wordt het zout getransporteerd door middel van ondergrondse pekelleidingen. Voor de winning van het zout is ook een indampingsinstallatie nodig. Door de winning van zout kan bodemdaling optreden, waarbij in sommige gevallen gevaarlijke situaties kunnen ontstaan. Soms is het daarom nodig om winningsholtes weer op te vullen. Bij de transport van pekkel moet rekening worden gehouden met een risico voor de zoete grondwatervoorraad, door verontreiniging met zout water in het geval van een calamiteit. Diepe ondergrond Door de zoutwinning ontstaat een zoutcaverne, die kan fungeren als 'opslagvat' voor andere gassen/vloeistoffen. Door de plasticiteit van het zoutsteen kan in de loop der tijd wel vervorming van de caverne optreden. Andere gebruiksfuncties Zoutcavernes bieden nieuwe mogelijkheden, door ontstaan 'opslagvaten'. Wanneer deze worden toegepast voor andere gebruiksfuncties (zoals de opslag van aardgas of stikstof) is regelmatig onderhoud nodig om de gewenste vorm en structuur te behouden.
Eenheden	Wettelijk zijn er een aantal randvoorwaarden opgesteld aan de winning van zout (SodM). • de maximale diameter van de caverne is 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; • de afstand van de caverne tot de rand van het zout moet minimaal 200 m zijn.

	Er wordt in Nederland op drie plaatsen steenzout (NaCl) gewonnen: in Twente, in Groningen (Zuidwending en Heiligerlee) en Friesland (Franekeradeel). De productie in 2007 bedroeg bijna 6.200 kton zout. Bij Veendam wordt ook magnesiumzout gewonnen waarvan de productie in 2007 een kleine 300 kton bedroeg (SodM). De dichtheid van Haliet is circa 2.200 kg/m³. Zoutcavernes tot een diepte van ca 1.400 m-mv kunnen geschikt zijn voor opslag. Wanneer ze dieper liggen, vormt de plasticiteit een probleem.
Economie	Uit de zoutdiapieren worden zouten (keukenzout en magnesiumzout) gewonnen, die vele toepassingen kennen. Zoutsteen is impermeabel en vormt een zeer geschikte afsluiting voor gas- en oliereservoirs. Daarom kunnen zoutcavernes ook gebruikt worden bij de opslag van bijvoorbeeld aardgas en stikstof.
Klimaat	Hoewel zoutcavernes wel interessant zijn voor klimaat afwegingen, is de winning van zout op zich niet verbonden met dergelijke afwegingen.
Schaal/beleid	Zoutdiapieren komen niet overal voor, waardoor de winning lokaal plaatsvindt. Zout wordt gewonnen door industriële partijen
Wet- en regelgeving	
Stand van zaken Drenthe 2009	In de omgeving van Veendam wordt magnesiumzout gewonnen door Nedmag en keukenzout door Akzo Nobel. In Drenthe zijn op enkele locaties geschikte zoutdiapieren aanwezig. Momenteel liggen de indampingsinstallaties in de provincie Groningen.
	 Wikipedia, zouthuisje bij tweekelo

9 FACTSHEET GASBUFFERING ZOUTCAVERNES

9.1 Factsheet opslag aardgas in zoutcaverne

Technische beschrijving	Na zoutwinning blijft een caverne achter in de ondergrond. Deze holte kan gebruikt worden voor opslag. Aardgas kan opgeslagen worden in lege zoutcavernes, om schommeling in de gasvraag op te kunnen vangen. De meeste bestaande cavernes zijn niet geschikt om gas in op te slaan. Hiervoor dienen nieuwe cavernes gemaakt te worden zoals beschreven onder zoutwinning uit diapieren. Zodra een caverne gevormd is kan het gas onder druk geïnjecteerd worden. Gezien de opslagcapaciteit en de productiesnelheden is een caverne met name geschikt voor dag/nacht buffering.
Effecten	Maaiveld Aan maaiveld is een productie- en injectiefaciliteit nodig. De opbouw van deze faciliteit hangt af van de hoeveelheid aardgas die wordt opgeslagen. Voor de buffering zijn koel- en verwarmingsinstallaties, compressoren en pompen nodig. Tevens dient de locatie te worden aangesloten op het gasnet, via een pijpleiding. Diepe ondergrond In de ondergrond zijn vaak meerdere zoutcavernes in gebruik. Tijdens de aanleg van deze cavernes is bodemdaling nodig. Tevens moet rekening worden gehouden met eventuele zoutvloeit van het gesteente in en om de caverne. Andere gebruiksfuncties Zoutcavernes kunnen als opslagvat dienen voor verschillende stoffen. Wanneer wordt gekozen voor aardgas, sluit dit andere mogelijkheden (tijdelijk) uit.
Eenheden	Onder druk van het overliggende gesteente kan zoutvloeit optreden wat niet gewenst is bij opslag van gas en vloeistoffen. De druk in een gemaakte caverne zal constant moeten zijn om zoutvloeit te voorkomen. Bij UGS kan bij het verwijderen van het gas (en dus de druk) enige mate van zoutvloeit ontstaan. Op termijn resulteert dit dus in een verkleining van de ruimte. Als absolute ondergrens is een diepte van 1.400 m-mv 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). Het geometrisch volume van een caverne ligt in de ordergrootte van 500.000 m³. In veel gevallen zijn meerdere cavernes nodig, om de gewenste opslagcapaciteit te verkrijgen.

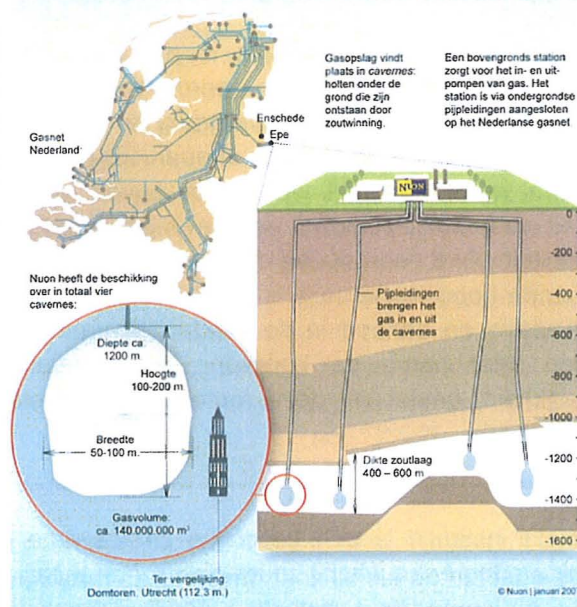
	Op basis van de gasbuffering in een zoutcaverne bij Zuidwending (Gr.) blijkt dat de injectie- en productiesnelheid rond de 2,5 miljoen m³ per uur is [Samenvatting MER Ondergrondse aardgasbuffer Zuidwending]. Nuon heeft een gasopslag in het Duitse Epe (net over de grens bij Enschede), waar de opslagcapaciteit ca 200 miljoen m³ is.
Economie	Aardgasbuffering is bedoeld voor het opvangen van pieken in de gasvraag, tijdens bijvoorbeeld koude winters en dagen. Het is daarmee een belangrijk middel om de leveringszekerheid van energie te waarborgen.
Klimaat	UGS in zoutcavernes wordt niet uitgevoerd op basis van klimaatbeleid.
Schaal/beleid	Nationaal belang, voor het opvangen van een piek-vraag. Bij zout cavernes gaat het vanwege de relatief geringe omvang om dag-nacht 'peak shaving'.
Stand van zaken Drenthe 2009	In Nederland wordt gasopslag in zoutcavernes toegepast bij Zuidwending (provincie Groningen), door Akzo Nobel, Gasunie en Nuon.
	 Beeld: BAM/ Gasunie



Bouwproces Zuidwending (Bron: www.Nuon.nl)

Ondergrondse gasopslag

Vraag en aanbod van gas kan sterk schommelen. Om hier flexibel op in te spelen, beschikt Nuon over een eigen buffervoorraad in zoutcavernes in het Duitse Epe.



www.nuon.nl

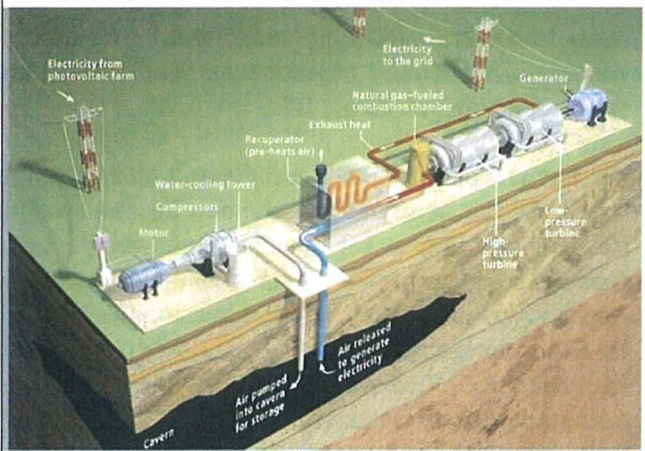
9.2 Factsheet opslag groen gas in zoutcaverne

Groen gas bestaat uit methaangas (CH₄), hetzelfde gas als aardgas. Vanwege deze overeenstemming sluit deze factsheet nauw aan bij de factsheet 'opslag aardgas in zoutcaverne'.

De hoeveelheid opgeslagen gas is direct afhankelijk van de productie van het biogas. Er kunnen meerdere productie locaties op elkaar worden aangesloten, maar het is zeer waarschijnlijk dat de volumes geïnjecteerd gas vele malen kleiner zijn dan bij aardgasbuffering. De dagelijkse productie van biogas wordt simpelweg gelimiteerd door het beperkte aanbod organisch materiaal en de beperkte omzettingssnelheid van de productie installaties (vergisters).

9.3 Factsheet opslag perslucht in zoutcavernes

Technische beschrijving	Het 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, omdat via deze route duurzame elektriciteit kan worden 'opgeslagen'.
Effecten	Maaiveld In eerste instantie is een geschikte zoutcaverne nodig. Hierbij treden dezelfde effecten op als bij zoutwinning. Aan maaiveld is vervolgens een pomp- en compressie installatie nodig en tevens aansluiting op het nationale elektriciteitsnet. Diepe ondergrond Ook bij persluchttopslag kan bij het verwijderen van de lucht (en dus de druk) enige mate van zoutvloeit ontstaan. Op termijn resulteert dit in een verkleining van de ruimte. Andere gebruiksfuncties Bij de opslag van perslucht in zoutkoepels is sprake van tijdelijke opslag.
Eenheden	Als absolute ondergrens is een diepte van 1.400 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 caverne kan worden voorkomen door een andere putconfiguratie. IF technology geeft aan dat per caverne een vermogen van 290 MW kan worden

	opgeslagen.
Economie	Opslag van perslucht is rendabel wanneer elektriciteit wordt ingekocht bij lage prijzen en weer wordt verkocht bij hogere prijzen. Tijdens de aanleg van de benodigde zoutcavernes moet rekening worden gehouden met de afstand naar de indampingsinstallatie. Langere afstanden verhogen de kosten van pekeltransport en daarmee de kosten van de aanleg van de zoutcaverne.
Klimaat	Opslag van perslucht in een zoutcaverne biedt in feite de mogelijkheid om elektriciteit op te slaan (in de vorm van samengeperste lucht). Een van de problemen met duurzame elektriciteit, in dit geval wind, is dat vraag en aanbod niet altijd matchen; het waait niet altijd als de energievraag hoog is. De koppeling van duurzame elektriciteit en luchttopslag in zoutcavernes kan daarin uitkomst bieden. Met name windenergie is hiervoor interessant.
Schaal/beleid	Hoewel de potentie er is, is de techniek in Nederland nog niet uitontwikkeld.
Stand van zaken Drenthe 2009	In Nederland wordt deze techniek nog niet toegepast.
	 Bron: scientific american

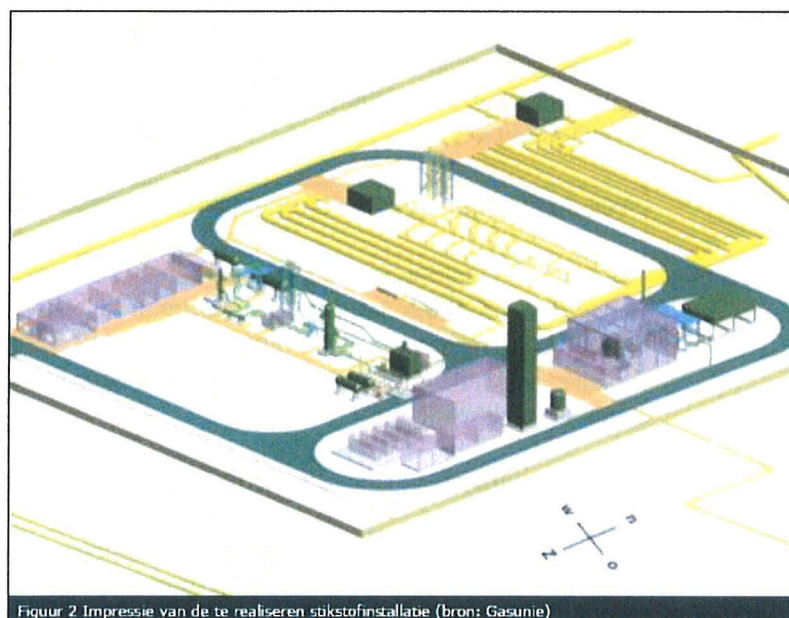
9.4 Factsheet opslag stikstof in zoutcavernes

Technische beschrijving	De opslag van stikstof (in een zoutcaverne) is bedoeld om de gaskwaliteit in het leidingennet van Gasunie te kunnen reguleren. Door bijmenging van stikstof kan de juiste calorische waarde worden bereikt. Stikstoftoevoeging verlaagt de calorische waarde van hoogcalorisch gas uit het buitenland en sommige kleinere Nederlandse velden, waardoor het van dezelfde kwaliteit wordt als het lager calorische gas uit het grote Groningerveld ('Slochteren'). De aardgastoestellen in Nederland zijn van oudsher afgestemd op dit 'Groningengas'. (Bron: CE) Er bestaan verschillende kwaliteiten gas (verschil in calorische inhoud; verschil in droogte; etc.). De belangrijkste kwaliteiten zijn G-gas en H-gas. Zij verschillen in de concentratie stikstof (N₂) en dus in de calorische waarde. Kleinverbruikers kunnen vaak maar één kwaliteit gebruiken (G-gas). Installaties bij grootverbruikers zijn soms geschikt voor meerdere kwaliteiten (sommige elektriciteitscentrales bijvoorbeeld). De kwaliteit van het gas is een parameter van het energiegebruik vanwege: a <i>N₂-productie</i> om G-gas te verkrijgen uit H-gas (energieverbruik is circa 10% van het specifieke gemiddelde verbruik over de gehele aardgasketen). b <i>Transport-compressie</i>: na omzetting van H-gas naar G-gas wordt relatief veel lucht (N₂) getransporteerd (het gaat om ongeveer 5 vol% van het in Nederland afgezette aardgas); daarnaast bestaan omwegen naar mengstations. (Bron: CE). De luchtscheidingsfabriek produceert stikstof, dat wordt gebruikt om hoogcalorisch aardgas te verdunnen tot een kwaliteit die vergelijkbaar is met die van G-gas. Dit pseudo G-gas wordt, gemengd met G-gas uit Slochteren, in binnenland en buitenland afgezet. De verhouding tussen G-gas en pseudo G-gas varieert over het jaar, het G-gas volume is groot bij een hoge gasvraag. De luchtscheiding kost veel energie in de vorm van elektriciteit. Daarnaast leidt bijmenging van stikstof tot vergroting van het te transporteren gasvolume en daarmee tot een hoger energiegebruik voor transport-compressie. Niet produceren en niet bijmengen van stikstof betekent dus energiebesparing (Bron: CE).
Effecten	Maaiveld In eerste instantie is een geschikte zoutcaverne nodig. Hierbij treden dezelfde effecten op als bij zoutwinning. Aan maaiveld is vervolgens een pomp- en compressie installatie nodig en tevens aansluiting op het nationale elektriciteitsnet. Diepe ondergrond Ook bij persluchtopslag kan bij het verwijderen van de lucht (en dus de druk) enige mate van zoutvloeï ontstaan. Op termijn resulteert dit in een verkleining van de ruimte.

	Andere gebruiksfuncties Bij de opslag van perslucht in zoutkoepels is sprake van tijdelijke opslag.
Eenheden	De productie van stikstof vergt 8% van het totale energieverbruik (Bron: CE). Stikstof wordt geproduceerd met een Air Separation Unit (ASU), waarbij stikstof uit de lucht wordt gehaald. Bij de stikstofbuffer van Gasunie in Heiligerlee wordt ca. 16.000 m³/uur lucht door de ASU gepompt, onder een druk van 7 bar. (bron: Ontwerp Rijksinpassingsplan Stikstofbuffer Heiligerlee).
Economie	Stikstof wordt gebufferd om de leveringszekerheid van aardgas van de juiste kwaliteit in Nederland te waarborgen. Vooral aardgas dat wordt geïmporteerd van relatief (te) hoge kwaliteit, waardoor menging van stikstof nodig is.
Klimaat	Stikstofbuffering heeft geen betrekking op klimaatbeleid.
Schaal/beleid	Vanaf 2011 ontstaat waarschijnlijk een permanente vraag naar stikstof, vanwege de hoge import van aardgas in Nederland [bron: Ontwerp Rijksinpassingsplan Stikstofbuffer Heiligerlee]. Stikstofbuffering is een lokale activiteit, maar heeft betrekking op de gaslevering aan het nationale netwerk. Voor het project in Heiligerlee is een Rijksinpassingsregeling van kracht.
Stand van zaken Drenthe 2009	N.V. Nederlandse Gasunie heeft het voornemen om de capaciteit voor het bijmengen van stikstof uit te breiden. De stikstof zal gewonnen worden in een nieuw te bouwen stikstofinstallatie in Zuidbroek (gemeente Menterwolde). In deze installatie zal stikstof uit de lucht worden gehaald, en geschikt gemaakt worden voor toepassing in aardgas. Door middel van een nieuw aan te leggen 16" (inch) pijpleiding zal de stikstof getransporteerd worden naar een bufferlocatie, waar de stikstof wordt opgeslagen. De stikstofpijpleiding loopt van de stikstofinstallatie in de gemeente Menterwolde, door de gemeente Scheemda naar de bufferlocatie in de gemeente Winschoten. Voor de bufferlocatie zal een zoutcaverne bij Heiligerlee aan de zuidkant van Winschoten, bij de grens met de gemeente Scheemda, worden gebruikt.



Bron: Gasunie



Figuur 2 Impressie van de te realiseren stikstofinstallatie (bron: Gasunie)

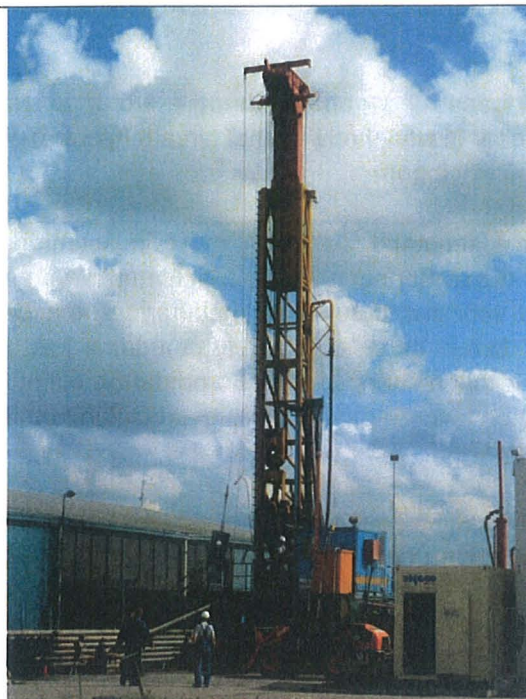
10 FACTSHEET GEOTHERMIE

10.1 Warmtewinning

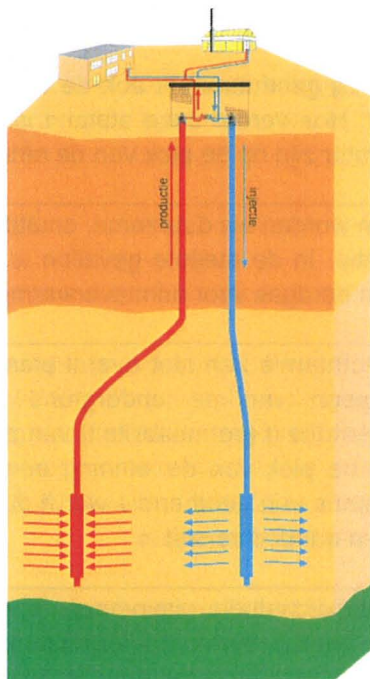
Technische beschrijving	Diverse natuurkundige processen zorgen ervoor dat het binnenst van de aarde zeer heet is. Niemand weet hoe warm de binnenkern van de aarde precies is, maar geschat wordt dat deze tussen de 4.000 – 6.500 °C ligt. Deze warmte straalt uit naar de buitenste lagen van de aarde, wat ervoor zorgt dat 99% van de Aarde warmer is dan 1.000 °C en dat 99% van de rest nog altijd warmer is dan 100 °C. Deze warmte wordt aardwarmte of geothermie genoemd. 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 geïnfilteerd in de formatie waaraan het onttrokken is. Hierin wordt onderscheid gemaakt tussen directe toepassing (verwarming of koeling) en indirecte toepassing (elektriciteitsproductie; zie factsheet 9). Geothermie kan dus overal op aarde gevonden worden, maar de structuur van de aarde zorgt ervoor dat hoge temperaturen niet overal even diep aangetroffen worden. In vulkanische gebieden zoals IJsland liggen zogenaamde hoogenthalpische vindplaatsen van geothermie aan de oppervlakte (bijvoorbeeld geisers). Deze geothermie is eenvoudig te winnen en door de hoge temperaturen ook geschikt om elektriciteit mee op te wekken (>100 °C). In niet-vulkanische gebieden zoals Nederland spreekt men van laagenthalpische vindplaatsen. Hier is de temperatuur op economisch rendabele windieptes meestal niet hoger dan 100 °C. Al geruime tijd interesse Geothermie is in principe een onuitputtelijke bron van energie, waardoor het idee om aardwarmte te benutten zeker niet nieuw is. In de oudheid werden geothermische bronnen al gebruikt voor onder andere baden, bijvoorbeeld door de Grieken. De eerste geothermische generator werd al in 1904 gebouwd in Italië, door Piero Ginori Conti. In Nederland is de interesse in geothermie in de jaren '80 ontstaan. TNO geeft aan dat destijds een aantal inventarisatie-studies (RGD, 1982; 1983; 1985) zijn gedaan die echter niet tot daadwerkelijke winning van aardwarmte hebben geleid. Wel zijn een aantal proefboringen uitgevoerd. In 1987 is een proefboring voor aardwarmtewinning uitgevoerd bij Asten in Noord-Brabant (Asten-2). Deze boring was helaas niet bijzonder succesvol, vanwege het tegenvallende debiet. Op Texel wilde iemand zijn zwembad verwarmen met grondwater. Ook dat ging na boring niet door, het water was te lauw. In Luttelgeest (Noordoostpolder) is in 2004 vergeefs geboord naar gas. Een glastuinder wilde wel de blootgelegde aardwarmte van die diepte
--------------------------------	--

	gebruiken. Maar de boorplaats was tien kilometer van zijn bedrijf en vanwege het dure transport geen haalbaar plan (http://www.nostraverus.com/article/494/energie_uit_de_grond.html). Hernieuwde interesse De laatste jaren neemt de interesse voor geothermie in Nederland enorm toe, gedragen door de klimaatcrisis en het besef dat fossiele bronnen eindig zijn. De toepassing van geothermie past daarom in de zogenaamde energietransitie; de geleidelijke overgang naar een duurzame energievoorziening. In zowel het noordwesten als het zuidoosten van Drenthe bevinden zich aardlagen in de diepe ondergrond die geschikt zijn voor de winning van geothermie. Ook in midden Drenthe zijn geschikte lagen aangetroffen. In Nederland begint deze vorm van energiewinning langzaam toepassing te vinden, met name in de glastuinbouw.
Effecten	Maaiveld De haalbaarheid van geothermie hangt, naast het ondergrondse deel, ook af van de bovengrondse warmtevraag. Gebieden met glastuinbouw of grote woningbouwprojecten zijn, gezien de grootte van de warmtevraag, interessant voor de toepassing van geothermie. Tevens is een distributienet vereist voor het transporteren van de warmte. Er staan diverse installaties opgesteld om het diepe grondwater rond te pompen. Ondergrond In de diepe aquifers vindt wateronttrekking plaats, waardoor uitputting van de bron kan optreden. De permeabiliteit van de waterlaag is daarom zeer belangrijk. Via de injectieput wordt relatief koud water in de aquifer gepompt. Doordat warmte uit de ondergrond wordt onttrokken, vindt lokaal afkoeling plaats. Afhankelijk van het systeem moet de warmtebron na een aantal decennia weer regenereren (opwarmen). Andere gebruiksfuncties Voor de toepassing van geothermie zijn twee putten nodig, waarbij het einde van de putten in de aquifer circa 2 kilometer uit elkaar liggen. Een geothermisch systeem legt dus een aanzienlijke ruimteclaim op de diepe ondergrond. Mogelijk ontstaat hierdoor concurrentie/interferentie met andere gebruiksfuncties in de diepe ondergrond; helemaal wanneer de winning van geothermie op grote schaal toegepast zal worden.
Eenheden	Gemiddeld geldt dat de temperatuurstijging in de Nederlandse bodem ongeveer 30 °C per kilometer bedraagt. Dit betekent dat de putten voor een geothermisch systeem minimaal op circa 2.000 m diepte moeten liggen, waar de temperatuur ongeveer 70 °C of warmer is. Vanaf maaiveld worden de putten in een soort 'spagaat' geboord, zodat de putten circa 2 kilometer uit elkaar liggen. Het water uit de aquifer wordt bij een relatief groot systeem onttrokken met een debiet van 100 – 200 m³/uur en de (potentiële) energieopbrengst wordt uitgedrukt in

	GJ/ha/jaar. Voor de toepassing van geothermie wordt in Nederland met name gekeken naar glastuinbouw (vanaf circa 5 hectare) of woningbouw (vanaf circa 2.000 woningen).
Economie	Geothermie kenmerkt zich door grote investeringen, veroorzaakt door kostbare diepe boringen en het aanleggen van een warmtenet. Als vuistregel voor het boren naar geothermie kan gezegd worden dat 1 kilometer boren ongeveer 1,5 miljoen euro kost. Bij het boren naar geothermie zitten financiële risico's omdat de boring kan mislukken of de waterlaag ongeschikt blijkt. De terugverdientijd hangt dus sterk af van het 'boorsucces'. Er zijn diverse mogelijkheden om de zekerheid van terugverdienen te verhogen, zoals een verzekering met de volgende voorwaarden: Als er minstens 90% kans is op een succesvolle boring, de ondernemer 15% eigen risico neemt en een premie betaalt van 7%, wil de overheid garant staan voor een eventuele 'misboring'. De terugverdientijd hangt erg af van de situatie, maar een terugverdientijd van circa 5 jaar is mogelijk gebleken bij een tuinder in Bleiswijk. Een belangrijke factor bij geothermie is ook de transportafstand van de bron naar de afnemer. Hoe verder deze afstand is, des te lager zal de temperatuur van het water zijn op de plek van de afnemer.
Klimaat	Geothermie kan gezien worden als duurzame, onuitputtelijke energiebron met enorm veel potentie. In de meeste gevallen is het een vervanging voor de toepassing van aardgas voor ruimteverwarming.
Schaal/beleid	De toepassing van geothermie kan niet overal plaatsvinden, omdat het specifieke eigenschappen van de ondergrond vereist. Vooral de temperatuur en doorlatendheid (permeabiliteit) van de waterlaag zijn van belang. Tevens is op de plek van de winning een grote warmtevraag nodig. De enorme potentie van geothermie wordt dus beïnvloed doordat een match van vraag en aanbod vereist is.
Stand van zaken Drenthe 2009	Recent is een haalbaarheidsstudie uitgevoerd naar de toepassing van geothermie in Assen. Hieruit bleek dat er niet genoeg warmtevraag aanwezig was, om een rendabel systeem op te zetten. Momenteel wordt gekeken naar Zuidoost Drenthe, waar tuinders geïnteresseerd in geothermie zijn.



Geothermieboring in Bleiswijk (bron:
<http://www.geothermie.nl/index.php?id=23;>)

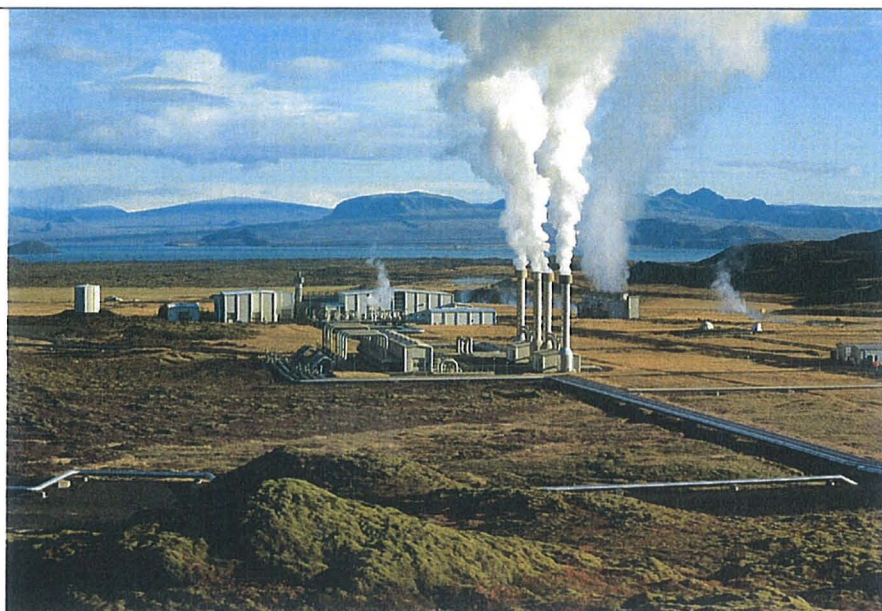


Principe van geothermie. www.energiek2020.nu

10.2 Elektriciteitsproductie

Technische beschrijving	Voor een algemene beschrijving van geothermie zie factsheet 10.1. Bij elektriciteitswinning uit geothermie wordt hoge temperatuur warmte uit diepere aardlagen gebruikt. Uit lagen die geschikt zijn voor geothermie kan, indien de temperatuur hoog genoeg is, 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 elektrische 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. Het ligt voor de hand om geothermische energie uit een aquifer te winnen. Echter, er zijn ook mogelijkheden om de thermische energie in 'droge' zones te winnen. Dit wordt Hot Dry Rock (HDR) geothermie genoemd. Op technisch gebied zijn momenteel wereldwijd zeer veel ontwikkelingen gaande, met als doel de kosteneffectiviteit van geothermische elektriciteitsproductie te optimaliseren.
Effecten	Maaiveld Voor de productie van geothermische elektriciteit is een centrale nodig. De omvang van de centrale hangt af van het producerend vermogen. Vanuit de centrale vindt aansluiting op het reguliere elektriciteitsnet plaats. Ondergrond In de diepe aquifers vindt wateronttrekking plaats, waardoor uitputting van de bron kan optreden. De permeabiliteit van de waterlaag is daarom zeer belangrijk. Via de injectieput wordt relatief koud water in de aquifer gepompt. Doordat warmte uit de ondergrond wordt onttrokken, vindt lokaal afkoeling plaats. Afhankelijk van het systeem moet de warmtebron na een aantal decennia weer regenereren (opwarmen). Andere gebruiksfuncties Voor de toepassing van geothermie zijn twee putten nodig, waarbij het einde van de putten in de aquifer circa 2 kilometer uit elkaar liggen. Een geothermisch systeem legt dus een aanzienlijke ruimteclaim op de diepe ondergrond. Mogelijk ontstaat hierdoor concurrentie/interferentie met andere gebruiksfuncties in de diepe ondergrond; helemaal wanneer de winning van geothermie op grote schaal toegepast zal worden.
Eenheden	Productie van elektriciteit uit aardwarmte vereist hogere temperaturen dan productie van warmte. Vanaf temperaturen van 95-100 °C wordt het mogelijk om, middels het Kalina proces, elektriciteit te produceren. Omdat de temperatuur in de diepe ondergrond in Nederland gemiddeld stijgt met 30 °C per kilometer, zijn diepere boringen vereist dan bij de

	productie van warmte. Theoretisch is een minimale diepte van 3.000 m vereist. Vanaf maaiveld worden de putten in een soort 'spagaat' geboord, zodat de putten circa 2 kilometer uit elkaar liggen. Het water uit de aquifer wordt onttrokken met een snelheid van 100 – 200 m³/uur en goed geschikte gebieden hebben een potentieel elektrisch vermogen van >1500 MWe/ 5 km².
Kosten/baten	De winning van elektriciteit uit geothermie kenmerkt zich door grote investeringen, veroorzaakt door kostbare diepe boringen. Er zijn mogelijkheden om de zekerheid van terugverdienen te verhogen, zoals een verzekering tegen misboringen. Als er minstens 90% kans is op een succesvolle boring, de ondernemer 15% eigen risico neemt en een premie betaalt van 7%, wil de overheid garant staan voor een eventuele 'misboring'. 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. De terugverdientijd hangt erg af van de situatie, maar een terugverdientijd van circa 5 jaar is mogelijk gebleken bij een tuinder in Bleiswijk. Het gaat hier echter om geothermische warmte, niet over elektriciteit.
Klimaat	Geothermie kan gezien worden als duurzame, onuitputtelijke energiebron met enorm veel potentie.
Schaal/beleid	De productie van geothermische elektriciteit kan niet overal plaatsvinden, omdat het specifieke eigenschappen van de ondergrond vereist. Vooral de temperatuur en doorlatendheid (permeabiliteit) van de waterlaag zijn van belang. Momenteel wordt het op grote schaal toegepast in gebieden met geothermische bronnen aan het oppervlak, zoals IJsland en de VS. In Nederland is men vooral geïnteresseerd in de winning van warmte in plaats van elektriciteit.
Wet- en regelgeving	
Stand van zaken Drenthe 2009	In Drenthe wordt gekeken naar de toepassing van geothermische warmtewinning. De temperaturen die hierbij van toepassing zijn, zijn te laag om elektriciteit mee te produceren.

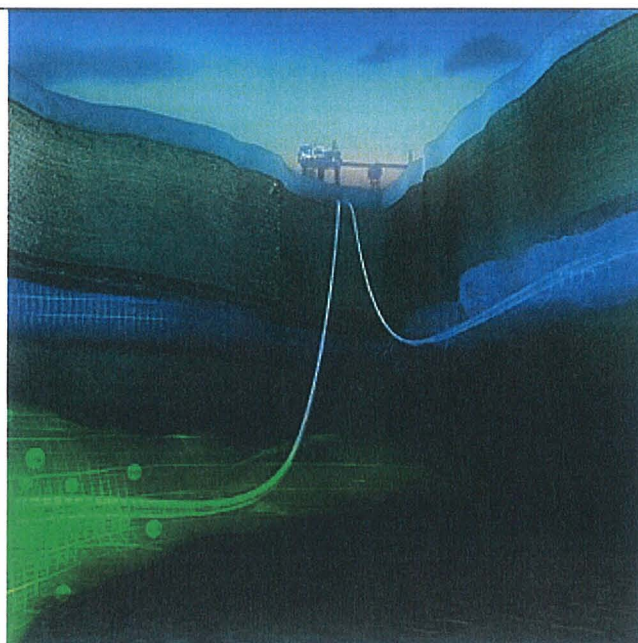


Nesjavellir PowerPlant, IJsland (wikipedia)

FACTSHEET OPSLAG CO₂ IN AQUIFERS

Technische beschrijving	Voor algemene informatie over CO₂-opslag zie factsheet 6. Naast de lege gasvelden kan CO₂ ook worden opgeslagen in zogenaamde aquifers, dit zijn diepe waterhoudende lagen die door hun specifieke vorm en stapeling ook uitstekend CO₂ kunnen vasthouden. Het afvangen en transporteren van CO₂ is hetzelfde als bij CCS in een leeg gasveld. Het verschil zit in de opslaglocatie. Vanuit de olie- en gasindustrie weten we in Nederland erg veel van de voorkomens in de Nederlandse ondergrond. Van aquifers is minder kennis beschikbaar, waardoor CCS in Nederland zich tot nu toe vooral richt op de opslag in gasvelden. Vooral op het gebied van injectiesnelheden, opslagcapaciteit en drukverloop tijdens de injectie zijn voorspellingen moeilijker te doen dan bij opslag in gasvelden.
Effecten	Maaiveld Voor CCS zijn diverse installaties nodig. Voor de afvang bij een grote CO₂ puntbron is een afvanginstallatie nodig. Transport gebeurt via ondergrondse leidingen en in sommige gevallen per schip. Bij een opslaglocatie zijn compressoren, pompen en putten nodig. Vanuit verschillende studies zijn de risico's van CCS aan maaiveld goed bekend. Ondergrond Bij CO₂-opslag in een leeggeproduceerd gasveld, loopt de druk in het reservoir langzaam op richting de omgevingsdruk. Echter, bij CO₂-opslag in een aquifer is in eerste instantie geen onderdruk aanwezig, waardoor de druk in de aquifer stijgt wanneer CO₂ wordt geïnjecteerd. De druk wordt dan hoger dan de omgevingsdruk. Daarom is een goede afsluitende laag essentieel. Andere gebruiksfuncties Het relatief warme water in diepe aquifers kan ook worden ingezet voor de winning van geothermische energie. CO₂-opslag in aquifers kan daarom van invloed zijn op de mogelijkheden om geothermie te benutten.
Eenheden	Aquifers wereldwijd veel meer potentie dan gasvelden. In Nederland veel kennis van gasvelden, dus richt men zich daar op.
Economie	Het uitstoten van CO₂ is schadelijk voor het milieu en heeft daarom een prijs. Dit is geregeld in het emissiehandelsstelsel (ETS). Momenteel is de CO₂-prijs echter te laag voor CCS; voor de meeste bedrijven is het uitstoten van CO₂ naar de atmosfeer de goedkoopste optie. Om CCS van de grond te krijgen moet er dus een hogere CO₂-prijs zijn (rond de 30-40 euro wordt veelal genoemd als richtbedrag). Vanuit Europa wordt gestreefd om CCS in 2020 als commerciële techniek beschikbaar te hebben, om te kunnen voldoen aan de klimaatdoelen. Doordat het ETS deze rol (nog) niet kan vervullen, zijn subsidies nodig.

	Een andere mogelijkheid is het invoeren van een CO₂-tax. Een bekend voorbeeld is het Sleipner-project van Statoil voor de kust van Noorwegen. Op deze plek wint Statoil aardgas met relatief hoge concentraties CO₂. Dit CO₂ wordt gescheiden van het aardgas en vanuit de winningslocatie direct weer in een diepe aquifer geïnjecteerd. De reden van deze ontwikkeling is dat Noorwegen een CO₂-tax heeft ingevoerd, waardoor het uitstoten van CO₂ naar de atmosfeer duurder is geworden dan het injecteren in een aquifer.
Klimaat	CCS wordt momenteel gezien als een interim oplossing voor de klimaatproblematiek, tot op grote schaal meer duurzame energiebronnen kunnen worden toegepast. Voorzien wordt, dat vanaf 2020 CO₂-opslag op industriële schaal zal gaan plaatsvinden. In het kader van het Energieakkoord Noord Nederland zijn afspraken gemaakt betreffende een eventuele realisatie van een CO₂-opslag en CO₂-emissiereductiedoelstellingen, waar mogelijk via afvang en opslag van CO₂.
Schaal/beleid	In vergelijking met olie- en gasvelden, is de potentie van opslag in aquifers enorm. Aquifers komen over de hele wereld voor en de totale opslagcapaciteit van deze waterlagen is vele malen groter dan de opslagcapaciteit van olie- en gasreservoirs. Door deze potentie wordt verwacht dat CO₂-opslag in diepe aquifers een belangrijk element wordt van systemen wereldwijd voor het afvangen en opslaan van CO₂.
Wet- en regelgeving	Voor opslag in aquifers zijn met name offshore locaties in beeld. In Europa is hiervoor onder andere het OSPAR-verdrag van belang.
Stand van zaken Drenthe 2009	Momenteel worden de mogelijkheden van CCS in Noord-Nederland onderzocht. Dit gebeurt in een samenwerkingsverband, waar ook de provincie Drenthe bij betrokken is. Opslag in aquifers is hierbij niet in beeld.



Sleipner project, Statoil

De tekst in dit hoofdstuk is afkomstig van de Encyclopedie Drenthe Online (www.encyclopediedrenthe.nl/Geologie). Dit is een gezamenlijk project van Drents Plateau, Koninklijke Van Gorcum, Rovecom en Drents Archief.

Aan de oppervlakte wijst nog maar weinig op de geweldige gebeurtenissen die gedurende miljoenen jaren hebben plaats gevonden. De instabiliteit van de ondergrond, veroorzaakt door het op grote diepte voorkomen van zoutlagen en het eeuwige proces van het neerleggen en weer weghalen van zand-, grind- en klei-lagen door rivieren en ijskappen, hebben de ondergrond van Drenthe tot een lappendeken gemaakt.

De geologische gegevens bieden de mogelijkheid om hierin een patroon te ontdekken.

De breuken in het Carboon (tot 290 miljoen jaar geleden) bepalen de verdere geschiedenis. Afzettingen van het Carboon zijn bekend door boringen bij Drouwen. Zij liggen daar op 4000 meter diepte. Het Carboonbekken was een moerasgebied aan de rand van een gebergte dat net ten zuiden van het huidige Nederland lag. Het bekken kende een weelderige plantengroei in een tropsich klimaat dat leidde tot langdurige veenvorming. Door inkoling van deze veenpakketten werden steenkool, aardgas en aardolie gevormd. De steenkoollagen zijn het moedergesteente van het aardgas dat zich verzamelde in erboven gelegen reservoirgesteenten. Juist het mogelijk voorkomen van deze delfstoffen maakt dat er veel kennis is vergaard van de afzettingen in en na het Carboon. Over oudere lagen is veel minder bekend.

Aan het einde van de Carboontijd werd het bekken opgeheven en geërodeerd. Er was veel vulkanische activiteit langs de zogenaamde Emstrog, een slenk die van grote invloed is geweest op de vorming van de verdere ondergrond van Drenthe. De onder Gasselternijveen en Drouwenervveen aangetroffen vulkanische gesteenten (vulkanieten) zijn de enige van Nederland.

In het Perm (tot 245 miljoen jaar geleden) was er opnieuw sprake van een bekken onder zeeniveau. Na doorbraak van de barrière - ergens tussen het huidige Schotland en Noorwegen- stroomde dit vol zout water. In het late Perm (de periode die Zechstein wordt genoemd) werden dikke lagen klei en zand afgezet en vormden zich meerdere kalksteen- en steenzoutlagen waaruit in de Triastijd (tot 208 miljoen jaar gelden) door druk van het erboven afgezette gesteente zoutkoepels ontstonden. Die zijn aangetroffen onder Gasselte, Drouwen, Hooghalen en Schoonloo. De afzettingen van het Perm zijn onder de Hondsrug 1250 m dik maar door latere erosie onder Fochteloo maar 250 m.

In het Trias werden onder meer zandsteen en de zogenaamde Musschelkalk afgezet. Gedurende het midden van de Juratijd (tot 148 miljoen jaar gelden) lag Drenthe aan de rand van de zee. Er zijn in het oostelijk deel van de provincie tot 400 m dikke afzettingen bewaard gebleven in de vorm van donker gekleurde kleisteen overgaand in bitumineuze afzettingen. In de late Jura wordt Noord-Nederland opgeheven tot 1000 meter hoogte. Dit hoge deel werd door rivieren sterk geërodeerd.

In de Krijtperiode (tot 65 miljoen jaar gelden) was het hoge deel weggeërodeerd en overspoeld. De bodembewegingen hingen samen met de grootschalige plaattektoniek

waarin de vorming van de Atlantische Oceaan tussen Europa en Amerika plaats vond. Daardoor ontstond ook de Noordzeeslenk die verdere geologische vorming van Nederland in belangrijke mate zou bepalen. In het Krijt werden klei en zand afgezet en in de late periode de uit Zuid-Limburg bekende mergel, overgaand in krijtkalk. In heel Noordwest-Europa is de dikte van de afzettingen ca. 1200 m.

In het Tertiair (tot 2 miljoen jaar geleden) maakt Drenthe weer deel uit van een zeebodem en worden er uit het alpiene achterland erosieproducten afgezet die een dikte bereiken van 200 tot 1000 m, afhankelijk van de mate van de bewegingen van het plastische steenzout uit het Perm (zoutvloeï die zich gedurende het hele Tertiair voor heeft gedaan). Onder het Tertiair ligt als het ware het in eerdere perioden gevormde berglandschap met depressies tot 1000 m -NAP onder het Zuidlaardermeer tot een top van 200 m -NAP ten zuidoosten van Amen. Alleen bij de Emmerschans komen afzettingen uit het Tertiair aan de oppervlakte. Deze zogenaamde Pliocene zanden zijn fijnkorrelig en door de zee afgezet. Vervolgens zijn ze in het Kwartair door ijsstuwing aan de oppervlakte gebracht. In het Tertiair wisselden mariene afzettingen van zand en klei zich af met grove heldergrijze zanden en fijn grind aangevoerd door rivieren uit het huidige Noord-Duitsland en de Baltische staten. Door de voortdurende daling van het Noordzeebekken worden dikke lagen sedimenten afgezet. Onder het IJsselmeer is die laag het dikst, tot 500 m. Op de lijn Groningen - Hoogeveen nog maar 150 m.

Op de overgang van Tertiair naar Kwartair wordt in de zee vanuit het oosten een rivierdelta opgebouwd die zich uiteindelijk boven zee verheft. Op het Tertiair ligt een pakket van 150 tot 300 m uit het Kwartair (van 2 miljoen jaar geleden tot heden) opgebouwd en gevormd door rivieren en landijs. Kende het Tertiair een warm klimaat, het Kwartair wordt gekenmerkt door een afwisseling van tijden met een koud en een gematigd klimaat, de ijstijden en tussenijstijden. In het Cromerien (750.000 -350.000 jaar geleden) worden voor de in de buurt van Noord-Nederland gelegen ijskap grove grindhoudende zanden als een puinwaaier afgezet, aanvankelijk alleen door rivieren uit het oosten. Voor het eerst gaat de Rijn een rol spelen in de opbouw van deze puinwaaier. In de zandgroeve De Boer bij Emmerschans dagzomen Rijnzanden, gekenmerkt door het mineraal augiet. Dit mineraal is afkomstig uit het Eifelgebied waar het door vulkaanuitbarstingen zo'n 400.000 jaar geleden aan de oppervlakte werd gebracht. In dezelfde groeve dagzoomt ook een kleipakket, de Groene Bank genoemd, eveneens uit het Cromerien. De samenstelling van de klei en de vondst van stuifmeel van diverse plantensoorten wijzen op kwelderachtige omstandigheden. Het Cromerien is dan ook een complex van koude en warmere perioden. Op de Groene Bank ligt een 10 meter dik pakket grove Rijnzanden. Ze dateren uit het begin van de volgende ijstijd, het Elsterien (tot 300.000 jaar geleden). Het pakket daar weer boven verwijst naar de overgang naar smelwaterafzettingen uit het noorden. Ze behoren tot de Formatie van Peelo, eveneens uit het Elsterien.

In de aansluitende tussenijstijd het Holsteinien (tot 250.000 jaar gelden) rees de zeespiegel aanzienlijk en de zee drong noord-Nederland binnen. In zuidwest-Drenthe liggen Rijnafzettingen in de ondergrond. De Rijn stroomde toen via Midden-Friesland naar de Noordzee. Op enkele plaatsen in Noord-Drenthe worden in de ondergrond veenpakketten aangetroffen die ontstaan zijn in het veengebied dat toen de kust omzoomde.

Dan volgt de Saaleijstijd (Saalien, 250.000-130.000 jaar geleden) waarin in de vorm van een grondmorene de keileemondergrond van het Drents plateau is ontstaan en er stuwwallen werden gevormd in onder meer Oost-Groningen en bij Steenwijk. In de Eemtijd (tot 100.000 jaar geleden) steeg de gemiddelde julitemperatuur tot boven de huidige van 16 graden Celcius. De stijgende zeespiegel veroorzaakte een hoge grondwaterstand. Door uittredende kwel vormde zich langs de Hondsrug en in de beekdalen veen. Een deel van het Hunzedal kreeg een Waddenzee-achtig uiterlijk en daar werden klei en zand afgezet.

In de laatste ijstijd, het Weichselien, kende Drenthe geen ijsbedekking maar een toendraklimaat waarin op grote schaal dekzand werd afgezet. Tenslotte stijgt in het Holoceen (van 10.000 jaar geleden tot heden) de temperatuur opnieuw en worden in Drenthe in de »beekdalen en aan de randen van het Drents plateau de grote venen gevormd.

Onderstaande figuur geeft een overzicht van de geologische tijdschaal.

