



**Rijksdienst voor Ondernemend
Nederland**

Energie uit de ondergrond: potenties en kartering

EOS LT 03029, werkpakket 6

Datum November 2011

Deltares, R. van der Krogt

in opdracht van Agentschap NL (nu Rijksdienst voor
Ondernemend Nederland)

www.rvo.nl

Energie uit de Ondergrond: Potenties en kartering

**kartering energiesytemen voor ruimtelijke planning
(onderdeel EOS-project SREX van Agentschap NL)**

Rob van der Krogt

1202608-000

Titel

Energie uit de Ondergrond: potenties en kartering

Opdrachtgever Agentschap NL	Project 1202608-000	Kenmerk 1202608-000-VEB-0002	Pagina's 21
---------------------------------------	-------------------------------	--	-----------------------

Trefwoorden

Energie, ondergrond, kartering, ruimte, regionale planning, exergie, energieplanning, ruimtelijke planning, geothermie, WKO, warmte- en koudeopslag

Samenvatting

Naast de 'traditionele' rol van de ondergrond als leverancier van fossiele brandstoffen zoals gas, olie en kolen is de bodem ook een mogelijke bron van duurzame energie. In dit rapport worden de belangrijkste toepassingen daarvan beschreven. In termen van deze studie (studieproject SREX (Synergie tussen Regionale planning en EXergie), gefinancierd uit het EOS-programma (Energie Onderzoek Subsidie) van Agentschap NL) gaat het om duurzame toepassingen die bij kunnen dragen aan het effectiever omgaan met de exergie-potenties in een bepaald gebied. Het gaat om de volgende toepassingen:

1. Geothermie (aardwarmte);
2. Warmte- en koudeopslag (WKO) door middel van open aquifersystemen of gesloten systemen (bodemwarmtewisselaars).

Geothermie en WKO zijn de belangrijkste duurzame toepassingen van 'ondergrondse energie' waarmee in Nederland de laatste jaren veel ervaring is opgedaan. Daarnaast wordt ingegaan op diverse andere varianten van ondergrondse energieopslag, zoals:

- Opslag van hoge temperatuur (rest-)warmte in de ondergrond;
- Opslag van thermische energie in oppervlaktewater;
- Opslag van (bio-)gas en/of CO₂ in de ondergrond en bestaande gasvelden.

In tegenstelling tot de laatstgenoemde toepassingen kunnen de potenties van geothermie en WKO tot op zekere hoogte kwantitatief en gebiedsgericht worden aangegeven op basis van beschikbare kennis en gegevens. Deze kartering van energie potenties (energy potential mapping) is voor het SREX-pilotgebied Zuidoost-Drenthe verder uitgewerkt.

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
	nov. 2011	Rob van der Krogt		Niels van Oostrom		Henriëtte Otter	

Status

definitief

Inhoud

1 Inleiding	1
2 Geothermie	3
2.1 Geothermie: achtergrond en systemen	3
2.2 Geothermie: Nieuwe ontwikkelingen	6
3 Warmte- en koudeopslag (WKO)	7
3.1 Warmte- en koudeopslag: achtergrond en systemen	7
3.2 WKO: ontwikkelingen en beleid	8
4 Overige toepassingen Energie en Ondergrond	11
4.1 Opslag van hoge temperatuur restwarmte in de ondergrond	11
4.2 Opslag van thermische energie in oppervlaktewater	12
4.3 Ondergrondse opslag van (bio-)gas	13
5 “Energy Potential Mapping” voor WKO en Geothermie	15
5.1 Energiepotentiekarten voor WKO in Noordoost-Nederland	15
5.2 Energiepotentiekarten Geothermie voor Noordoost-Nederland	17
5.3 Uitwerking energiepotentiekarten WKO en geothermie voor Zuidoost-Drenthe (Emmen/Coevorden)	19
6 Referenties	23

Bijlage(n)

Error! No table of contents entries found.

1 Inleiding

Naast de 'traditionele' rol van de ondergrond als leverancier van fossiele brandstoffen zoals gas, olie en kolen is de bodem ook een mogelijke bron van duurzame energie. In dit rapport worden de belangrijkste toepassingen daarvan beschreven. In termen van deze studie gaat het om duurzame toepassingen die bij kunnen dragen aan het effectiever omgaan met de exergie-potenties in een bepaald gebied. Het gaat om de volgende toepassingen:

1. Geothermie (aardwarmte);
2. Warmte- en koudeopslag (WKO) door middel van open aquifersystemen of gesloten systemen (bodemwarmtewisselaars).

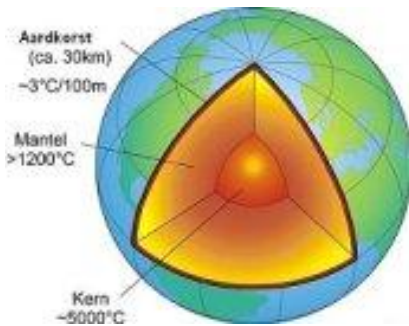
Geothermie en WKO zijn de belangrijkste duurzame toepassingen van 'ondergrondse energie' waarmee de laatste jaren op een behoorlijk schaalniveau ervaring is opgedaan. Bovendien kunnen de potenties ervan ook min of meer kwantitatief en gebiedsgericht worden aangegeven (energy potential mapping zoals in voorgaand hoofdstuk beschreven). Daarnaast zijn er nog diverse andere varianten van energieopslag denkbaar, zoals:

- Opslag van hoge temperatuur (rest-)warmte in de ondergrond;
- Thermische energie uit oppervlaktewater;
- Opslag van (bio-)gas en/of CO₂ in de ondergrond en bestaande gasvelden.

Deze varianten zullen kort worden beschreven, maar omdat de ontwikkeling hiervan nog in de kinderschoenen staat of omdat er maar een beperkt aantal toepassingen is kunnen de potenties van deze opties niet of nauwelijks kwantitatief in beeld worden gebracht en is de informatie voor gebiedsgerichte analyse te beperkt. Deze opties zijn dan ook niet verder opgenomen in de SREX-analyse, maar het is wel goed om ze in het achterhoofd te houden voor toekomstige verdere ontwikkeling.

2 Geothermie

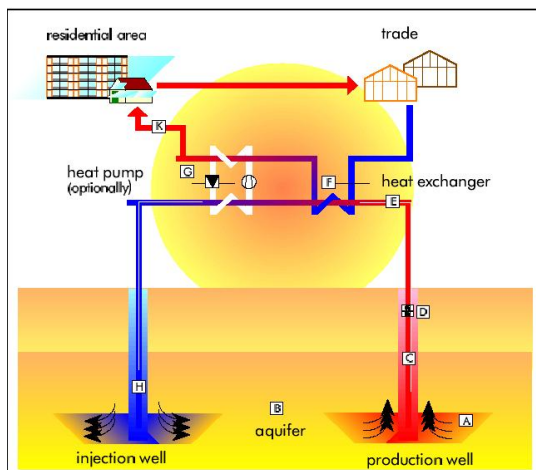
2.1 Geothermie: achtergrond en systemen



Figuur 2.1 Heet magma in de aarde

(bron: <http://www.duurzame-energiebronnen.nl/aardwarmte-geothermische-energ.php>)

Het binnenste van de aarde bevat heet magma (gesmolten gesteenten, mineralen en metalen) waarin voortdurend warmte wordt geproduceerd door natuurlijk verval van radioactieve isotopen. De aardkerst er omheen is relatief dun (ca. 5 tot 50 km) maar isoleert wel verreweg het grootste deel van deze warmtebron (figuur 2.1), die naast de zon in potentie een grote exergiebron is voor een gebied ('een stukje aardkerst'). Bij geothermie wordt gebruik gemaakt van deze aardwarmte. Behalve in gebieden met geisers of vulkanen komt deze aardwarmte niet vanzelf aan de oppervlakte. In de meeste gebieden – zo ook in Nederland - is het dan ook nodig om diep in de ondergrond te boren om deze geothermische warmte te kunnen winnen. Daarbij worden zogenaamde doublet systemen aangelegd, die bestaan uit een productie- en een injectieput. Vanuit de productieput wordt heet water onttrokken dat na gebruik (en dus afgekoeld) in de diepe ondergrond wordt teruggebracht via de injectieput, dit laatste uit oogpunt van duurzaam functioneren van het systeem (figuur 2.2). In de Nederlandse situatie zijn boringen van 2000 meter of dieper nodig om temperaturen van 60°C of meer te produceren. In de praktijk wordt aangenomen dat een dergelijk geothermisch systeem een levensduur heeft van tenminste 30 jaar.

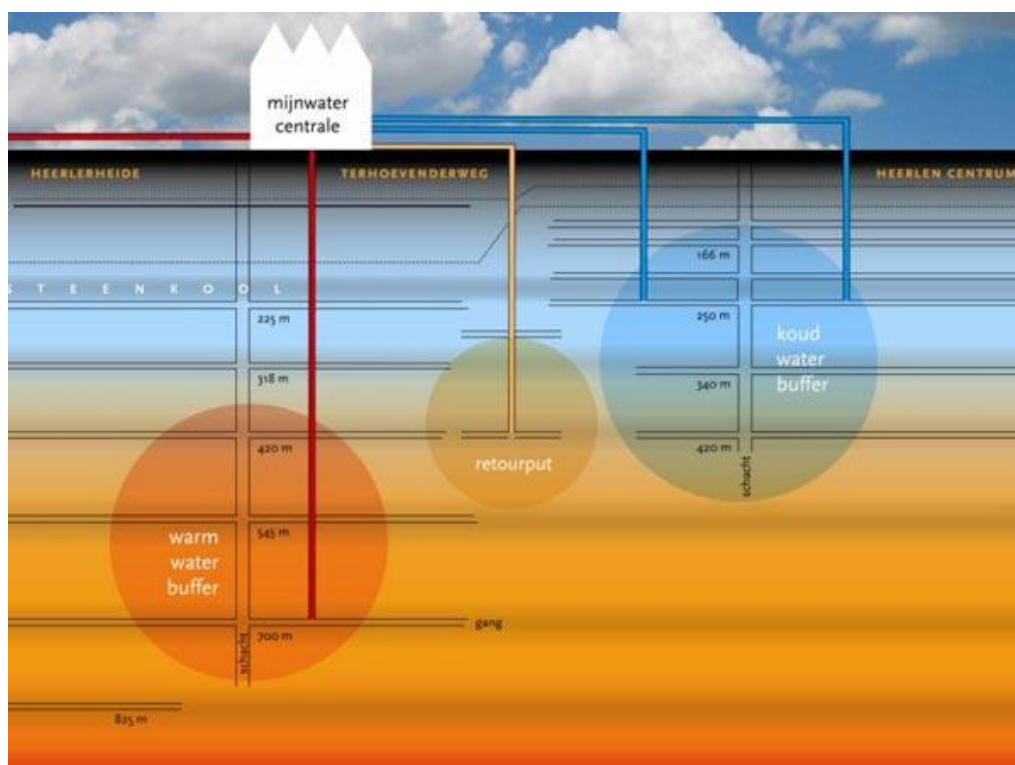


Figuur 2.2 Doublet systeem voor geothermische energie

Boven de grond wordt de warmte-energie van het water met behulp van een warmtepomp omgezet in de gewenste temperatuur en vervolgens met een bepaald vermogen rondgepompt via warmtewisselaars. Het ontwerp van het energiesysteem is mede afhankelijk van het gebruik voor bijvoorbeeld woningen, kassen of industrie. De energiebesparing ten opzichte van conventionele warmte wordt door de NVOE (Nederlandse Vereniging voor Ondergrondse Energieopslagsystemen) geschat op 60% tot 70%.

In Nederland zijn in de praktijk tot op heden (en vrij recent) zes geothermische doubletten gerealiseerd, twee voor een tuinbouwcomplex in Bleiswijk (pionier in 2007; capaciteit ~ 5 MW), twee in de gemeente Pijnacker (ook voor tuinbouwkassen) en één in Den Haag gekoppeld aan stadsverwarming voor een stadswijk. Interessant is te vermelden dat de beide doubletten in Pijnacker ook - onbedoeld - kleine hoeveelheden olie en gas meeproduceren dat zich ook op die diepte bevindt.

Verder wordt ook het Mijnwaterproject in Heerlen als geothermisch systeem aangeduid, maar dit betreft een heel specifieke installatie waarbij warm water wordt onttrokken aan mijngangen van de verlaten steenkolenmijn Oranje Nassau III (figuur 2.3).



Figuur 2.3 Schematische weergave mijnwaterproject Heerlen
(bron: <http://www.minewaterproject.info/smartsite.dws?id=39949>)

Hoewel het aantal geothermische systemen in Nederland dus nog erg beperkt is kan men toch spreken van een snelle ontwikkeling. Midden jaren '90 bevond geothermie in Nederland zich nog in een pril stadium van fundamenteel onderzoek, terwijl dit zich de laatste paar jaar dus al heeft vertaald naar concrete – en overwegend succesvolle - productie in de praktijk. Bovendien is er sprake van zeer snel groeiende belangstelling gegeven het feit dat er in 2011 al meer dan 100 opsporingsvergunningen zijn aangevraagd (figuur 2.4), waarvan het overgrote deel in de laatste ca. 4 jaar. Een opsporingsvergunning is verplicht onder de Mijnbouwwet en de Mijnbouwregeling om in een bepaald gebied te mogen zoeken naar geothermie en een proefboring te mogen doen. Als deze voldoende zekerheid geeft over de

gewenste productiviteit kan de opsporingsvergunning worden omgezet in een winningsvergunning en kan de exploitatie starten. Er liggen overigens voorstellen om beide vergunningen voor aardwarmte te combineren. De wet geldt voor aardwarmtewinning op meer dan 500 m onder maaiveld, en is in de Nederlandse praktijk dus vrijwel altijd van toepassing.

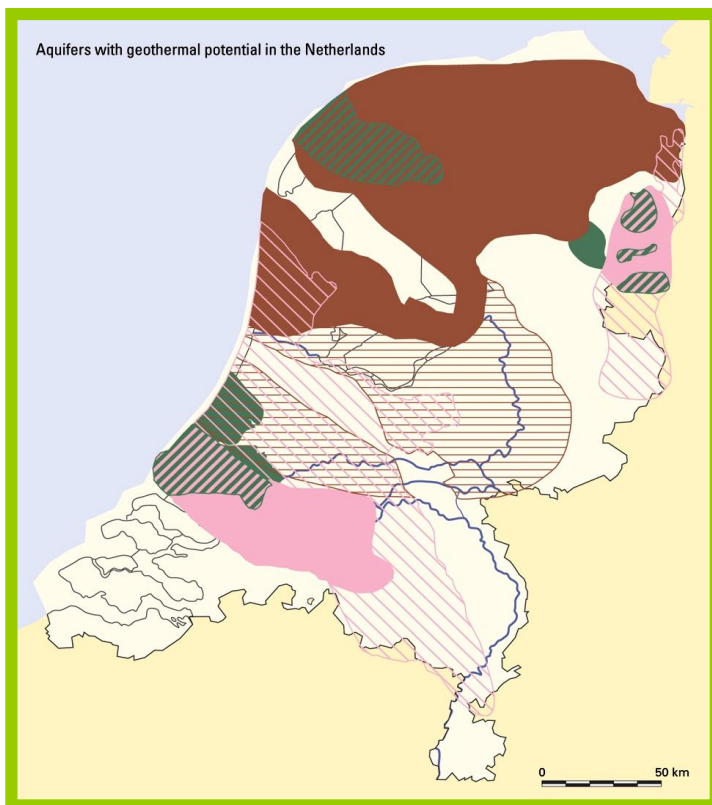
Een andere relevante bepaling uit de Mijnbouwwet betreft de toegankelijkheid van gegevens uit onderzoek, seismiek en boringen naar de diepe ondergrond. Dit betreft met name gegevens uit de olie- en gasindustrie, maar ook zoutwinning. Deze gegevens worden direct na het ter beschikking komen aan het Ministerie van EL&I ter beschikking gesteld, waarbij het beheer is neergelegd bij een speciale afdeling van TNO die de vertrouwelijkheid van de gegevens waarborgt. Na 5 jaar wordt de informatie openbaar toegankelijk, gegevens van vóór 2003 worden na 10 jaar toegankelijk. Dit heeft als consequentie dat openbaar toegankelijk onderzoek naar bijvoorbeeld geothermie geen gebruik kan maken van de meest recente gegevens. Het geleidelijk vrijkomen van de eerdere gegevens biedt echter wel een steeds groeiende basis voor verder vernieuwend onderzoek naar aardwarmte. Voor het verlenen van vergunningen worden uiteraard wel de meest recente gegevens ingezet.



Figuur 2.4 Overzicht vergunningen voor aardwarmte 1 januari 2011 (bron: www.nlog.nl)

2.2 Geothermie: Nieuwe ontwikkelingen

Op basis van bestaande kennis en ervaring, voor een belangrijk deel uit de olie- en gasindustrie, wordt geothermische potentie gekoppeld aan bepaalde typen zandsteen, die beschikken over voldoende porositeit en permeabiliteit om met water de warmte uit de gesteenten te kunnen onttrekken, ofwel waar zich zogenaamde aquifers bevinden. De potentieel geschikte gesteentes bevinden zich op dieptes tussen 1500 en 4000 meter en de voorkomens hiervan zijn afgebeeld op onderstaand kaartje (figuur 2.5).



Figuur 2.5 Aquifers met geothermische potentie in Nederland (bron: de Bosatlas van Ondergronds Nederland, 2009)

Recent onderzoek richt zich nu ook op aardwarmtewinning op grotere dieptes van zo'n 4 tot 7,5 km ('ultradiepe geothermie'). Hoewel boringen op deze dieptes uiteraard nog hogere kosten met zich meebrengen zouden de voordelen daartegen kunnen opwegen. Dit betreft bijvoorbeeld de zeer hoge temperaturen die kunnen worden gewonnen (175°C - 220°C), waarmee door middel van stoomturbines naast warmte ook elektriciteit geproduceerd zou kunnen worden. Verder zouden veel meer gebieden geschikt kunnen worden voor geothermische energie als gevolg van nieuwe mogelijkheden om aardwarmte te winnen uit meerdere soorten gesteentes op grotere dieptes. Zo wordt bijvoorbeeld onderzocht of met zogenaamde 'fracking' technieken breuken in het gesteente gecreëerd kunnen worden die het mogelijk maken om de warmte er met water uit te halen. Dit soort nieuwe technieken voor geothermie worden aangeduid als EGS, ofwel Enhanced/ Engineered Geothermal Systems (<http://engine.brgm.fr/>; <http://www.soultz.net/>).

Het onderzoek naar ultradiepe geothermie en EGS bevindt zich voor de Nederlandse situatie nog in een fundamenteel stadium en is in de praktijk in Nederland ook nog niet getest. Wel zijn er demonstratieprojecten in uitvoering in Duitsland en Frankrijk.

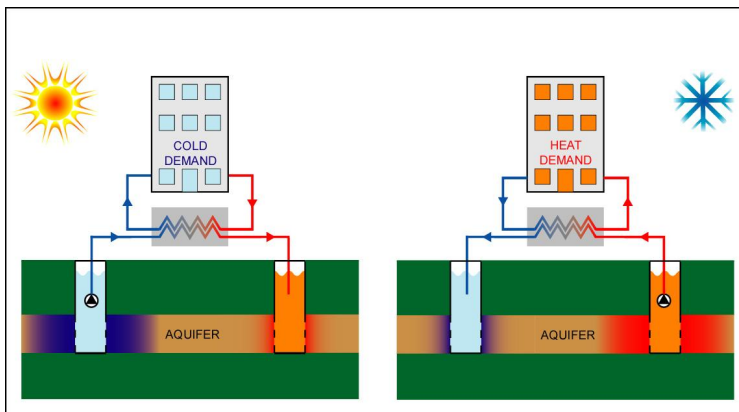
3 Warmte- en koudeopslag (WKO)

3.1 Warmte- en koudeopslag: achtergrond en systemen

Warmte- en koudeopslag wordt vaak in één adem genoemd met geothermie. Er zijn echter twee belangrijke verschillen:

- Geothermie maakt gebruik van warmte (diep) uit de aarde; WKO maakt gebruik van de isolerende werking van de ondergrond;
- WKO-putten of boorgaten gaan meestal zo'n 50 tot 250 m diep; geothermie-putten 1500 tot 4000 m diep (en in de toekomst mogelijk nog dieper).

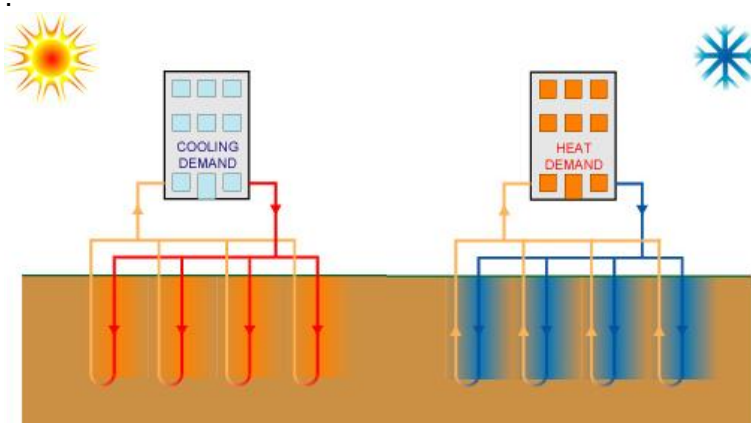
Ook bij WKO wordt gebruik gemaakt van aquifers ofwel watervoerende zandlagen (bij geothermie zijn het meer gesteentes), die eronder en erboven worden afgesloten door bijvoorbeeld ondoorlatende kleilagen. Deze afgesloten aquifers kunnen worden gebruikt voor seizoensopslag van warmte of koude. Het meest toegepaste systeem in Nederland (wat betreft de 'open WKO-systemen) is het 'doublet' systeem dat bestaat uit twee open boorputten (dat wil zeggen met open filters ter hoogte van de aquifer waar het water doorheen wordt gepompt) in combinatie met een warmtepomp. In de zomer wordt het grondwater vanuit de 'koude' put (koudebron) gepompt, waarmee gebouwen kunnen worden gekoeld. Door dit proces wordt het water opgewarmd (enkele graden Celsius) en vervolgens in de 'warme' put (warmtebron) teruggepompt. In de winter wordt dit proces omgedraaid en levert de warmtepomp extra warmte met behulp van het water uit de warmtebron, waarmee gebouwen kunnen worden verwarmd (figuur 3.1).



Figuur 3.1 'Open' WKO systeem (illustratie: TNO)

In de meeste gevallen worden deze open WKO systemen toegepast voor kantorencomplexen en andere utiliteitsgebouwen. De thermische vermogens variëren in de orde van 0,2 tot 10 MW. Het aantal gerealiseerde WKO-systemen in Nederland groeit snel. In de jaren '90 waren er hooguit enkele tientallen, rond 2010 is het aantal van 1.000 installaties gepasseerd. De ontwikkeling kan goed worden bijgehouden door middel van de provinciale vergunningplicht onder de Waterwet voor open WKO's met een debiet groter dan 10 m³ per uur. De criteria en voorwaarden die aan een vergunning worden gesteld verschillen overigens per provincie. Schattingen ten aanzien van de energiebesparing ten opzichte van conventionele warmte (met CV) en koeling lopen uiteen van 30% tot 80%, de CO₂-reductie bedraagt 30% - 60%.

Zoals in de introductie aangegeven (par. 3.1) wordt warmte- en koudeopslag ook vaak toegepast door middel van zogenaamde gesloten systemen, ofwel bodemwarmtewisselaars. Deze bestaan uit gesloten, met glycol (of andere warmtegeleiders) gevulde buizen in de ondergrond. Net als bij open systemen wordt warmte en koude uitgewisseld met de ondergrond, in dit geval niet via grondwater maar via het contact van de buizen met de bodem. De buizenstelsels kunnen afhankelijk van het systeem en de beschikbare ruimte zowel horizontaal als verticaal in de bodem worden gebracht, waarbij verticaal dieptes van 20 tot 150 m worden bereikt (figuur 3.2). Schattingen ten aanzien van de energiebesparing ten opzichte van conventionele warmte (met CV) en koeling lopen uiteen van 30% tot 50%.



Figuur 3.2 Warmte- en koudeopslag met gesloten buizen (illustratie: TNO)

Bodemwarmtewisselaars kunnen technisch gezien overal in Nederland worden toegepast. De maximale warmteonttrekking aan de bodem en hiermee ook de investeringskosten van het bodemwarmtewisselaarsysteem kunnen wel verschillen door de variërende bodemeigenschappen (zoals thermische warmtegeleiding) (Novem, 2001). Zo is de warmtegeleiding van zandige bodems bijvoorbeeld veel beter dan van klei of veen, en dit kan tientallen procenten uitmaken voor wat betreft de benodigde buislengte. In tegenstelling tot open WKO-systemen worden gesloten systemen voornamelijk toegepast voor individuele woningen, en deze hebben een potentiële capaciteit in de orde van grootte van 4-10 kW. In de CBS-publicatie *Duurzame Energie in Nederland 2007* wordt geschat dat er in Nederland ruim 22.600 gesloten systemen zijn met een totale lengte van 1451 km aan bodemlussen en een gezamenlijk thermisch vermogen dat geschat wordt op 36 MW (TCB, 2009). Er is vrij weinig zicht op de ontwikkeling van deze systemen omdat ze niet vergunningplichtig zijn.

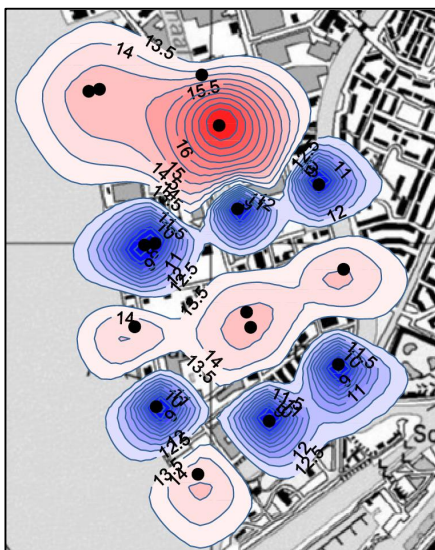
3.2 WKO: ontwikkelingen en beleid

Als het gaat om duurzaam gebruik van ruimte en ondergrond hebben open WKO-systemen de voorkeur boven gesloten systemen. De TCB (Technische Commissie Bodem) stelt in haar advies aan het toenmalige Ministerie van VROM in 2009 dat gesloten systemen – in vergelijking met hun relatief lage energiec capaciteit – niet kunnen worden beschouwd als een duurzame toepassing vanwege het grote aantal boorgaten die in veel gevallen de ondergrond verstoren en ongewenst ‘gaten prikken’ in ondoorlatende kleilagen, en vanwege de mogelijk nadelige effecten op het grondwater als systemen gaan lekken. Ook het beheer en de eventuele verwijdering op termijn zijn voor gesloten systemen niet geregeld. (TCB, 2009) Om de ontwikkelingen in de hand te houden wordt geadviseerd de huidige praktijk beter te reguleren, bijvoorbeeld door het instellen van een vergunnings- of meldingsplicht. Dit advies wordt opgevolgd in de AMVB Bodemenergie.

Beleidsmakers, deskundigen en bodembeheerders zijn positief over de verdere ontwikkeling van open WKO-systemen. In 2008 is door toenmalig Minister van VROM Jacqueline Cramer een 'Taskforce WKO' ingesteld. Deze Taskforce bepleitte in haar advies maatregelen voor een snelle groei van het aantal open WKO-systemen tot een aantal van 18.000 in 2020 (Taskforce WKO, 2009). Daarbij moet rekening gehouden met de volgende aspecten:

- Het huidige aantal systemen leidt nu al tot een zeer substantieel aandeel in de niet-natuurlijke circulatie van grondwater ten opzichte van alle andere toepassingen (zoals bv. drinkwaterwinning); duurzaam grondwaterbeheer is dan ook een belangrijk aspect;
- Planning: hoe moet worden omgegaan met verschillende claims voor het realiseren van WKO's in een beperkt gebied? Hoe kan worden voorkomen dat er ongewenste interferenties ontstaan tussen verschillende WKO-systemen, met andere grondwateronttrekkingen en bemalingen, met lokale bodemverontreinigingen of andere functies in de ondergrond? Deze aspecten spelen vooral een rol in dichtbebouwde stedelijke gebieden.
- Hoe kan een goed evenwicht worden gehandhaafd in de energiebalans van systemen, en bijvoorbeeld 'warmtevervuiling' van de ondergrond worden voorkomen? Het komt bijvoorbeeld bij kantoorgebouwen vaak voor dat de koelbehoefte door het jaar heen groter is dan de warmtebehoefte, met als gevolg dat de warme bron steeds groeit en de koude bron slinkt.
- Hoe kunnen systemen goed worden gemonitord (bv. met betrekking tot temperatuurverspreiding of grondwaterkwaliteit)? Recente discussies hierover wijzen in de richting van meer gebiedsgerichte in plaats van systeemgerichte monitoring.

Er lopen diverse trajecten om deze aspecten te vertalen naar nationale en regionale regelgeving en (integraal) bodembeleid. Ook is er steeds meer aandacht voor integrale gebiedsgerichte ontwikkeling van WKO-systemen zoals bijvoorbeeld in de stationsomgeving van Arnhem. Verder vindt er de laatste paar jaar veel onderzoek plaats wat meer inzicht moet geven in de nog relatief onbekende bodemprocessen rond WKO, onder andere bij instituten en bedrijven zoals IF Technology, Deltares, TNO, Bioclear en de WUR. Dit onderzoek is onder meer gericht op de werkelijk behaalde rendementen in de praktijk, temperatuurontwikkeling in WKO-aquifers (figuur 3.3), biologische invloeden, mogelijke combinaties tussen WKO en het opruimen van bodemverontreiniging en monitoring van WKO-bronnen. Verder wordt door instituten als RIVM en KWR Watercycle Research Institute ook onderzoek gedaan naar de relaties met drinkwaterwinning.

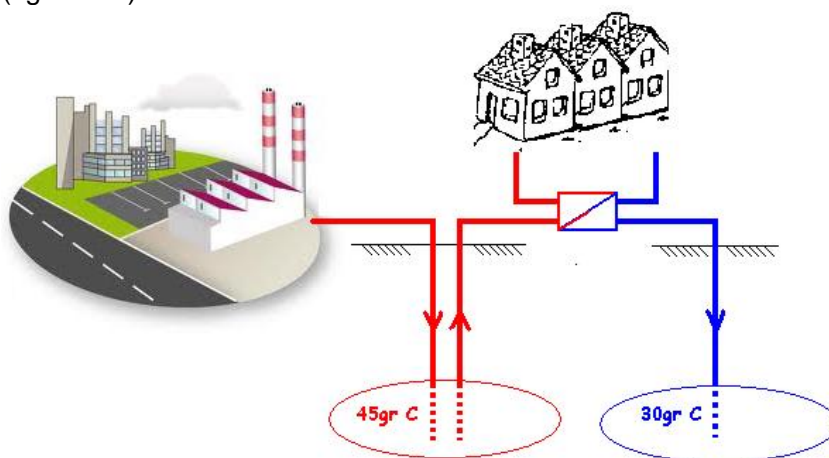


Figuur 3.3 Temperatuuronderzoek in WKO-aquifers (bron: IF Technology)

4 Overige toepassingen Energie en Ondergrond

4.1 Opslag van hoge temperatuur restwarmte in de ondergrond

Bij zowel open als gesloten WKO systemen wordt algemeen aangenomen dat de temperatuur van de grond en het grondwater niet boven de 25°C stijgt. Maar omdat er geen monitoringsplicht geldt is dit onzeker, hetgeen wordt ondersteund door bijvoorbeeld recente metingen in het kader van de studie 'Meer met Bodemenergie' bij een open systeem dat regelmatig 40°C haalde. De huidige vergunningsgrens voor de injectietemperatuur voor open systemen ligt wel weer op 25°C, dus voor nieuwe systemen zou dit niet meer mogen voorkomen. Op basis van de huidige inzichten over de invloed van de temperatuur van grondwater op microbacteriële en geochemische processen adviseert de TCB om 25°C als plafondwaarde te hanteren, en onder voorwaarden een maximale plafondwaarde van 30°C te accepteren (TCB, 2009). Uit oogpunt van efficiënt omgaan met exergie en cascadering kan het echter juist interessant zijn om de bodem ook te benutten voor opslag van restwarmte uit de industrie of bijvoorbeeld WKK's (systemen voor Warmte-krachtkoppeling), waarbij water met veel hogere temperaturen (50-70°C of zelfs hoger) in de ondergrondse aquifers wordt opgeslagen, bijvoorbeeld in de zomer als de restwarmte niet voor verwarming van woningen of kantoren kan worden ingezet. In de winter wordt de warmte dan weer uit de grond gehaald (figuur 4.1).



Figuur 4.1 Opslag hoge temperatuur (rest-)warmte in de ondergrond

Tot nog toe is er in Nederland zeer weinig ervaring met deze toepassing. Er kunnen twee – weinig recente - praktijkcases worden genoemd: een hoge temperatuuropslag systeem in combinatie met een WKK voor een zorginstelling in Zwammerdam, met een injectietemperatuur van 88°C in een aquifer op ca. 200m diepte, en een hoge temperatuuropslag onder de Uithof bij de Universiteit Utrecht (90°C, 250 m diep), die beiden niet meer in gebruik zijn (Willemsen, 2010).

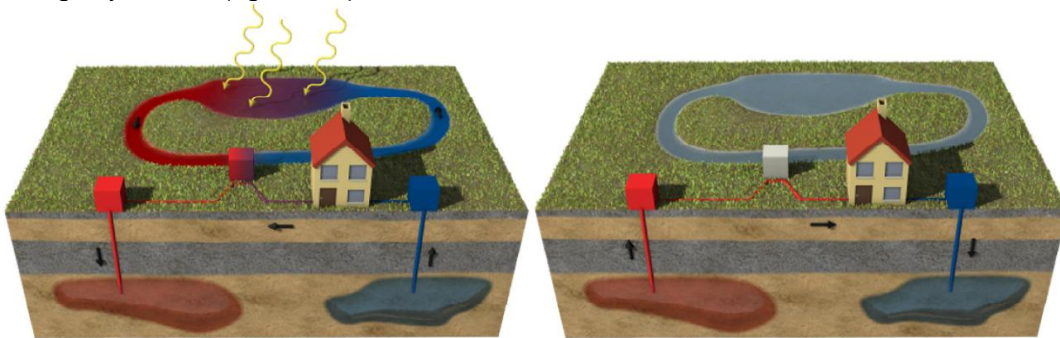
Naast de onzekerheden die door de TCB zijn aangegeven is ook de duurzaamheid van het systeem zelf een issue, bijvoorbeeld omdat door chemische processen en vervorming verstoppingen kunnen optreden en het systeem uitvalt. Verder conflicteert hoge temperatuuropslag in de meeste provincies met de regels voor het bodemgebruik.

Toch blijft het vanwege de vele mogelijke restwarmte-toepassingen interessant om hoge temperatuuropslag verder te onderzoeken, waarbij bijvoorbeeld ook naar diepere lagen gekeken zou kunnen worden, mogelijk ook beneden de 500 meter, waar niet de Provincie maar het ministerie van E, L & I bevoegd gezag is (Mijnbouwwet).

4.2 Opslag van thermische energie in oppervlaktewater

In termen van de Lagenbenadering (geïntroduceerd in de Nota Ruimte van het voormalige Ministerie van VROM, nu onderdeel van het Ministerie van Infrastructuur & Milieu) kunnen ondergrond, grondwater en oppervlaktewater beschouwd worden als een samenhangend systeem, behorend tot de basislaag 'Ondergrond' (Nota Ruimte, 2004). Vanuit dat perspectief en de analogie met WKO-systemen kunnen met enige goede wil ook mogelijkheden van energieopslag in oppervlaktewater gezien worden als toepassing van 'energie uit de ondergrond'.

Toepassingen van energieopslag in oppervlaktewater (zoals meren, vijvers, rivieren en waterwegen) zijn in Nederland nog incidenteel, bevinden zich nog in een experimentele fase of zijn heel specifiek voor lokale omstandigheden en gebouwen. Er zijn allerlei verschillende soorten toepassingen denkbaar, al dan niet in combinatie met WKO of andere energiesystemen (figuur 4.2).



Figuur 4.2 Principe van winning van warmte uit oppervlaktewater (Bron: Deltares, *Onze Delta – Feiten, mythen en mogelijkheden, Staat en toekomst van de delta 2008 – eerste stap, februari 2008*)

Hieronder wordt een aantal voorbeelden beschreven.

- De Koude Centrale Nieuwe Meer (Amsterdam) is een door NUON ontwikkelde energiecentrale, die koud water op 30 meter diepte uit het Nieuwe Meer haalt, en doorstuurt naar de kantoorgebouwen op de Amsterdamse Zuidas om die te koelen, in aanvulling op de WKO-installaties waarop een aantal gebouwen al eerder was aangesloten. In de gebouwen komt door alle computerapparatuur namelijk veel warmte vrij, zodat daar ook veel koeling nodig is. Het water gaat na gebruik ca. 10 graden warmer dan het voorheen was – van 6 naar 16 graden – weer terug het Nieuwe Meer in. De invloed van dat warmere water op het meer is verwaarloosbaar, dus het proces kan zich eindeloos herhalen (Nuon, 2009). Soortgelijke toepassingen rond combinaties van WKO en het thermisch gebruik van oppervlaktewater zijn nu ook in ontwikkeling bij kantoorgebouwen van Port City in de Rotterdamse Waalhaven.
- Koelings- en verwarmingssysteem diverse panden universiteit Twente. In combinatie met een sprinklerinstallatie wordt een tien meter diepe vijver met een opslagcapaciteit van ongeveer 10.000 m³ ingezet als koudebuffer. Daarbij wordt gebruik gemaakt van het natuurkundig principe dat warm water op koud water blijft 'drijven'. Via een ringleiding zijn gebouwen aangesloten op de koelvijver. 's Nachts koelt de vijver af door de temperatuur van de buitenlucht. Als dit in zomernachten niet voldoende is om de vijver op de juiste temperatuur te krijgen dan wordt er gebruik gemaakt van koelmachines. Door dit systeem is het niet langer nodig de verschillende ruimtes in de Universiteit Twente apart te koelen. Dit scheelt energie. Ook wordt door het nachtelijk gebruik van de koelmachines een lager energietarief betaald (http://www.devernufteling.eu/00/vnf/nl/0/content/44/De_Vernufteling_2006.html)

(<http://www.koudeenluchtbehandeling.nl/products/koeltechniek/koudecirkel-zorgt-voor-energiezuinige-koeling-universiteit-twente-4744>).

- Terugwinning van thermische energie uit oppervlaktewater. Recent is onderzoek gestart naar de mogelijkheden om de warmte die vrijkomt bij thermische lozingen van met name energiecentrales weer uit het oppervlaktewater te kunnen terugwinnen of in te zetten voor nuttig en economisch gebruik. De resultaten van dit onderzoek op landelijke schaal dat door Rijkswaterstaat is gestart en wordt uitgevoerd door Deltares worden in het najaar van 2011 verwacht.

Verder biedt het rapport “Energie uit Water; een zee van mogelijkheden” van CE-Delft dat in 2009 is uitgebracht een interessant overzicht van verschillende mogelijke toepassingen. Naast de bovengenoemde zijn dat bijvoorbeeld:

- Warmte uit zeewater: De warmte uit zeewater wordt benut als basis om woningen of utiliteitsgebouwen van warmte te voorzien. In elk gebouw wordt de warmte via een individuele warmtepomp op een bruikbaar temperatuurniveau gebracht. Er wordt gebruik gemaakt van laag-temperatuur-verwarmingsystemen; er loopt een proefproject in Duindorp, Den Haag.
- SWAC (Sea Water Air Conditioning): Dit concept maakt gebruik van koude uit zeewater als koelmedium voor de air conditioning van gebouwen. Het SWAC-systeem is vooral geschikt wanneer diep oceaanwater beschikbaar is (met een temperatuur tussen 5 en 10°C) en waar de oceaan vloer stijl omhoog loopt. Ook bij diepe meren (dieper dan 20 meter) kan het SWAC-systeem worden toegepast. Wanneer de watertemperatuur hoger is zijn hybride systemen beschikbaar. Er loopt een proefproject op Curaçao.
- Drijvende woningen/ onttrekking warmte aan binnenwater: Het concept van drijvende woningen is in opkomst. Een optie is om clusters drijvende woningen te voorzien van een drijvende nutseenheid (DNE) die in belangrijke mate zelfvoorzienend is op het gebied van energie, water en afval. De temperatuur van het binnenwater waarop de woningen drijven speelt daarbij een belangrijke rol. Het water wordt gebruikt voor zowel verwarming als voor koeling. Individuele warmtepompen in de woningen krikken de temperatuur van het CV-water op tot het vereiste niveau. Er wordt hier weer laag-temperatuur-verwarming toegepast. Er zijn nog geen toepassingen in de praktijk.
- Warmte uit rivieren: Door een na-ijleffect (langzamer afkoelen dan de omgeving) bevatten rivieren in de herfst relatief veel opgeslagen warmte. In veel gebouwen is dan al verwarming nodig. De warmte daarvoor kan uit het water worden gewonnen en met een warmtepomp op een bruikbaar niveau worden gebracht. In de lente gebeurt hetzelfde, maar dan omgekeerd. De rivier is dan nog relatief koud en het water wordt dan gebruikt om te koelen. Dit concept wordt toegepast in Rotterdam (Maastoren), in Terneuzen (RWS) en Maastricht (Provinciehuis).

(CE-Delft, 2009)

4.3 Ondergrondse opslag van (bio-)gas

De laatste jaren wordt er veel onderzoek gedaan naar opslag van CO₂ in de ondergrond. Door concrete plannen voor proeflocaties en –gebieden (o.a. Barendrecht en Noord-Nederland) is hierover veel maatschappelijke discussie geweest. Hoewel CO₂-opslag gerelateerd is aan energiegebruik is dit geen onderwerp van deze studie, omdat het geen potentiële bron is van regionale exergie. Het onderzoek naar CO₂-opslag vestigt echter wel de aandacht op de potentiële opslagcapaciteit van bestaande gas- en olievelden die geheel of gedeeltelijk leeg zijn geproduceerd (TNO, 2006). De toenemende kennis over de karakteristieken van deze reservoirs in de diepe ondergrond (waarvan de recente data betrouwbaar zijn, zie par. 2.2) biedt naast beter inzicht in de mogelijkheden voor geothermie ook kansen voor nieuwe toepassingen van gasopslag. Ook bij de ‘traditionele’ gaswinning komen dat soort opties de laatste jaren steeds meer in beeld en wordt er gas tussen velden

uitgewisseld om bijvoorbeeld aan pieken in de gasvraag te kunnen voldoen, of bijvoorbeeld om de internationale doorvoer efficiënter te reguleren, zoals bij de plannen voor een zogenaamde Groningse 'gasronde' om onder meer Russisch gas op te slaan en door te transporteren.

Als we kijken naar meer regionale toepassingen is het ook denkbaar dat deze velden kunnen worden ingezet om duurzaam groen gas of biogas op te slaan, bijvoorbeeld gekoppeld aan WKK- en biogasinstallaties. Tijdelijke opslag kan de efficiëntie van het energiegebruik vergroten door middel van seizoens- of piekopslag. Bij seizoensopslag wordt bijvoorbeeld in de zomer geproduceerd 'overtollig' gas opgeslagen dat 's winters kan worden gebruikt. Piekopslag is met name bedoeld om te kunnen voldoen aan korte, excessieve vraagpieken, bijvoorbeeld tijdens extreem koude dagen. In principe kan ieder type gas worden opgeslagen in (gedeeltelijk) lege gasvelden, waarbij reservoirs met een hoge permeabiliteit de voorkeur hebben om energieverlies te reduceren. De gewenste reservoir-karakteristieken zijn verder afhankelijk van de functie (piek- of seizoensberging).

De Provincie Drenthe heeft in haar Structuurvisie Ondergrond (Provincie Drenthe, 2010) aangegeven dat de ondergrondse opslag voor biogas (naast geothermie) een speerpunt van beleid wordt, waarvoor de opslag van CO₂ als speerpunt moet wijken.

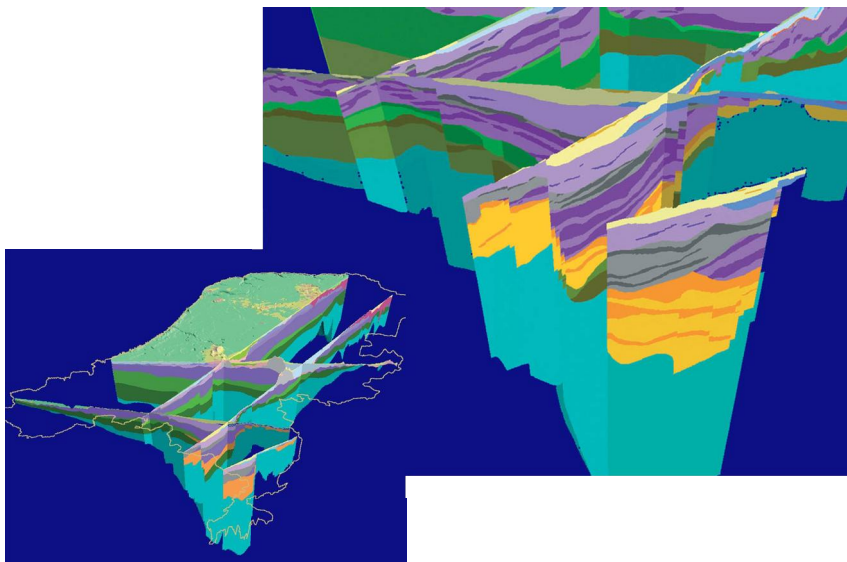
Naast lege gasvelden kunnen ook zoutcavernes (natuurlijke of door zoutwinning gemodificeerde holtes in zoutlagen in de diepe ondergrond) worden ingezet voor gasopslag. Dit vraagt veel onderzoek, ontwikkeling en regionale en lokale afstemming, maar in 2011 is de eerste Nederlandse gasopslag in zoutlagen in gebruik genomen, in Zuidwending, nabij Veendam (Gasunie, 2011).

5 “Energy Potential Mapping” voor WKO en Geothermie

In navolging van de methodiek van “Energy Potential Mapping” (EPM) zoals beschreven in hoofdstuk 6 van het SREX-boek “Synergie tussen Regionale Planning en Exergie” (Agentschap NL, 2011) zijn in het SREX-project ook de mogelijkheden en potenties voor Geothermie en voor WKO (open aquifer-systemen) in kaart gebracht. In deze paragraaf wordt dit beschreven voor de regio Noordoost-Nederland, nader uitgewerkt voor de regio Zuidoost-Drenthe (regio Emmen-Coevorden).

5.1 Energiepotentiekaarten voor WKO in Noordoost-Nederland

Met behulp van 3D-geologische en hydrologische modellering (figuur 5.1) kunnen belangrijke eigenschappen van ondergrondse aquifers voor de toepassing van WKO, zoals dikte en doorlatendheid, geografisch en kwantitatief in kaart worden gebracht. Deze modellering van de ondergrond is mogelijk tot op relatief gedetailleerde schaal, voldoende voor interpretatie op regionaal niveau, op basis van gegevens uit het zogenaamde DINO-systeem (<http://www.dinoloket.nl/>). Dit is de centrale opslagplaats (onder beheer van TNO) voor geowetenschappelijke gegevens over de diepe en ondiepe ondergrond van Nederland. Dit archief omvat een zeer groot aantal diepe en ondiepe boringen, grondwatergegevens, sonderingen, geo-elektrische metingen, resultaten van geologische, geochemische en geomechanische monsteranalyses, boorgatmetingen en seismische gegevens.

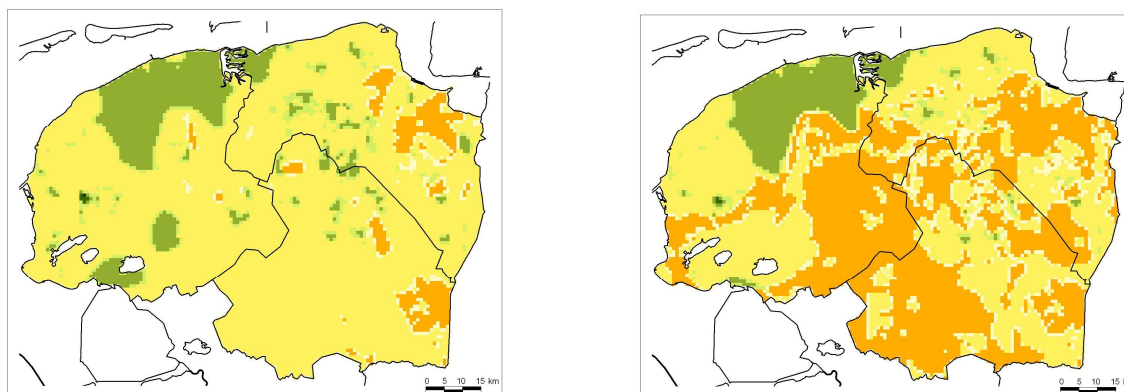









Figuur 5.1 3D Geohydrologische modellering (bron: TNO)

In de casus Noordoost-Nederland/ Zuidoost-Drenthe is de selectie van aquifers die geschikt zijn voor WKO gebaseerd op de mogelijkheid om minimaal 75 m³/h grondwater te kunnen onttrekken, rekening houdend met een afstand van tenminste 150 m tussen productie- en injectieput (ofwel de warme en koude bron van het systeem). Dit komt overeen met een maximale inzet van ongeveer 20 doublet-systemen per km². In verschillende gebieden bevinden zich meerdere geschikte aquifers in lagen boven elkaar (van elkaar gescheiden door ondoorlatende kleilagen). De energiepotenties in die gebieden kunnen bij elkaar worden opgeteld.

Vervolgens kan de energiepotentie per km² (of per ha) worden bepaald op basis van de maximaal mogelijke onttrekkingen per km² (of per ha) en de ΔT (het gemiddeld temperatuurverschil tussen het water dat wordt onttrokken aan de productieput en het water dat na gebruik in de injectieput wordt teruggebracht). De hoogte van ΔT is afhankelijk van de configuratie van het systeem bovengronds en de karakteristieken van de ondergrond. De kaart van figuur 5.2a toont de resulterende energiepotenties op basis van bovengenoemde berekeningen.

Een belangrijk aspect voor de instandhouding van de duurzaamheid van de ondergrond is de overgang van zoet en brak of zout grondwater. Het is ongewenst dat via de boorputten het risico ontstaat van uitwisseling tussen verschillende waterlagen met verschillende zoutgehaltes. In de meeste provinciale vergunningssystemen is dit ook niet toegestaan. In die gebieden waar wordt verondersteld dat er dergelijke zoet-zout overgangen aanwezig zijn tussen potentieel geschikte aquifers die boven elkaar liggen, worden in dit analysemodel de aquifers die *onder* zo'n overgang liggen niet meer meegerekend. De kaart van figuur 5.2b toont de energiepotenties voor toepassing van WKO's als rekening wordt gehouden met deze ondergrondse zoet-zout overgangen.



ΔT	5° C	10° C
	0 - 4200	0 - 8400
	4200 - 8400	8400 - 16800
	8400 - 12600	16800 - 25200
	12600 - 16800	25200 - 33600
	16800 - 21000	33600 - 42000
	21000 - 25200	42000 - 50400
	Geen geschikte aquifers aanwezig	

Energie in MJ/ ha/ dag

(energieverbruik voor verwarming van 100 woningen \approx 5000 MJ / dag)

Figure 5.2a *Energiepotentiekaart voor warmte- en koudeopslag in aquifers*

Figure 5.2b *Energiepotentiekaart voor warmte- en koudeopslag in aquifers, rekening houdend met restricties met betrekking tot zoet-zoutovergangen in de ondergrond*

5.2 Energiepotentiekaarten Geothermie voor Noordoost-Nederland

Ook voor geothermie kan met behulp van de gegevens uit het DINO-systeem en 3D-geohydrologische modellering van de diepe ondergrond geografisch in kaart worden gebracht waar en in welke mate de ondergrond mogelijk geschikt is. Daarbij kan men zich baseren op een aanzienlijke hoeveelheid gegevens uit de olie- en gasindustrie, die na een periode van vertrouwelijkheid (zie par. 2.2) publiek beschikbaar komen.

In de casus Noordoost-Nederland/ Zuidoost-Drenthe is als criterium voor geothermische potentie gesteld dat er bepaalde zandsteenlagen met daarin aquifers aanwezig zijn, die zodanig diep liggen dat de temperatuur er minimaal 60°C of hoger is. In de meeste gevallen betreft dit dieptes van meer dan 2.000 meter. De selectie van geschikte zandsteenlagen is gebaseerd op expertise en gegevens uit de olie- en gasindustrie in de noordelijke provincies.

Het gaat om zandsteenlagen die voldoen aan bepaalde criteria met betrekking tot poreusiteit, permeabiliteit en dikte van de aquifer om geschikt te kunnen zijn voor geothermische productie.

In deze studie is daarbij gekeken naar de volgende geologische formaties (engelstalige aanduiding):

- KNNSF – Friesland Member
- RBMDL – Lower Detfurth Sandstone Member
- RBMVL – Lower Volpriehausen Sandstone Member
- ROSL – Slochteren Formation
- ROSLL – Lower Slochteren Member
- ROSLU – Upper Slochteren Member

In verschillende gebieden bevinden zich meerdere geschikte lagen boven elkaar: in die gebieden worden in dit analysemodel de energiepotenties bij elkaar opgeteld. De energiepotentie is daarbij bepaald volgens onderstaande formule:

$$H_1 = [(1-P) \cdot r_{ma} \cdot c_{ma} + P \cdot r_w \cdot c_w] \cdot [T_d - T_r] \cdot 0.33Dz \quad [J/m^2]$$

H_1	[J/m ²]	Deel van de geothermische energie die onttrokken kan worden
P	[%]	Poreusiteit
r_{ma}	[g/cm ³]	Dichtheid van het gesteente (zandsteen ≈ 2.6 g/cm ³)
r_w	[g/cm ³]	Dichtheid van het formatiewater (water ≈ 1 g/cm ³)
c_{ma}	[J/(kg . K)]	Soortelijke warmte van het gesteente (zand ≈ 0.835 J/(g . K))
c_w	[J/(kg . K)]	Soortelijke warmte van het formatiewater (water ≈ 4.1813 J/(g . K))
T_d	°C	Temperatuur bovenkant aquifer (> 60°C)
T_r	°C	Temperatuur van geïnjecteerd water (25 °C)
Dz	[m]	Dikte aquifer (> 10 m)

Op basis van deze analyse is voor Noordoost-Nederland een kaart opgesteld (figuur 5.3) met de (geschatte) *totale* potentiële geothermische energieproductie per m². De variaties per gebied hangen samen met de lokale aanwezigheid van hierboven genoemde geohydrologische formaties. De hoeveelheid energie die *binnen een bepaalde tijdsperiode* onttrokken zou kunnen worden is nog onbepaald. Dergelijke inschattingen vragen meer onderzoek, maar in de praktijk wordt meestal uitgegaan van een levensduur van 30 jaar voor een geothermisch doublet.

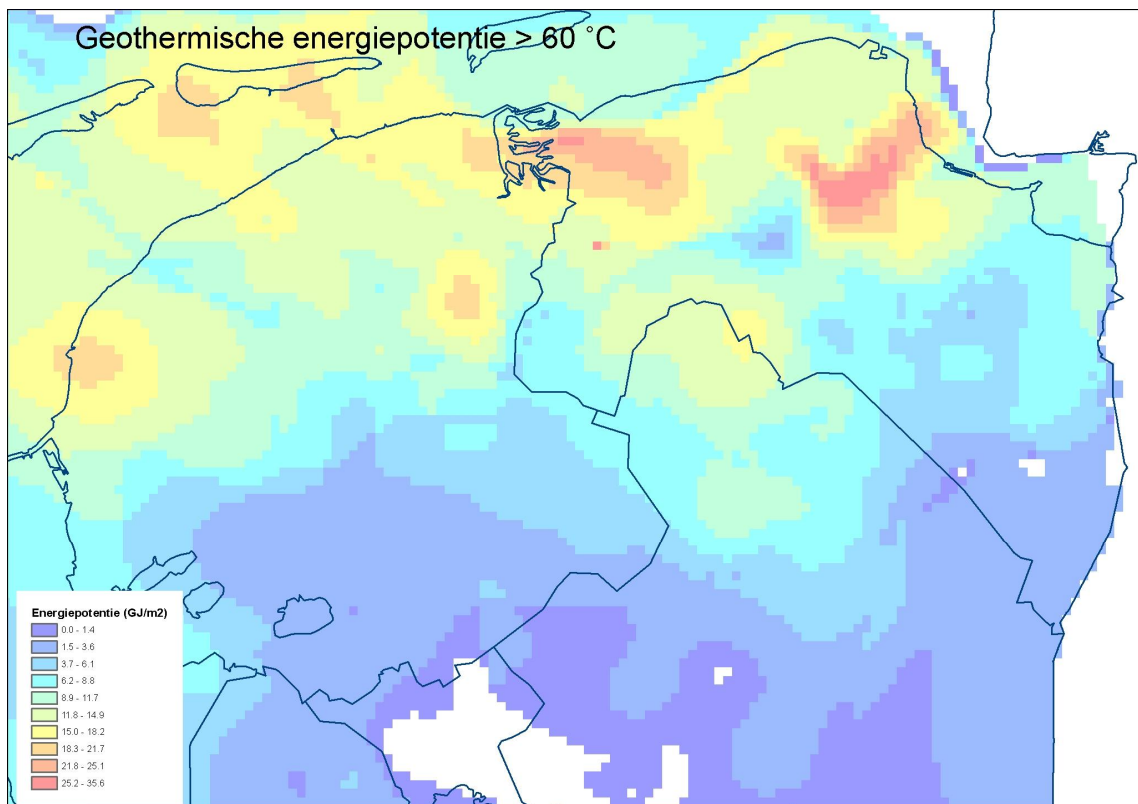


Figure 5.3 Energiepotentiekartaar geothermie Noordost-Nederland

Bij de kaart van figuur 5.3 en de onderliggende analyse moeten verder de volgende aspecten en discussiepunten in acht worden genomen:

- De interpretatie en bruikbaarheid van dit soort kaarten is afhankelijk van het doel waarvoor het wordt gebruikt;
- Praktische ervaring met geothermische systemen in Nederland is nog schaars (maar groeiende; zie par. 2.2);
- Er is geen rekening gehouden met restricties voor het gebruik van geothermie in combinatie met ander ondergronds ruimtegebruik zoals bijvoorbeeld gas- en oliewinning of CO₂-opslag.
- De analyse is gebaseerd op een aantal vaste aannames wat betreft layout en ontwerp van geothermische installaties;
- De parameters voor porositeit, permeabiliteit van de gesteentes en dikte van aquifers kennen hoge onzekerheidsmarges;
- Beperkingen met betrekking tot de inhoud en aard van gebruikte modellen en data (en met betrekking tot de beschikbaarheid van data op basis van de Mijnwet)

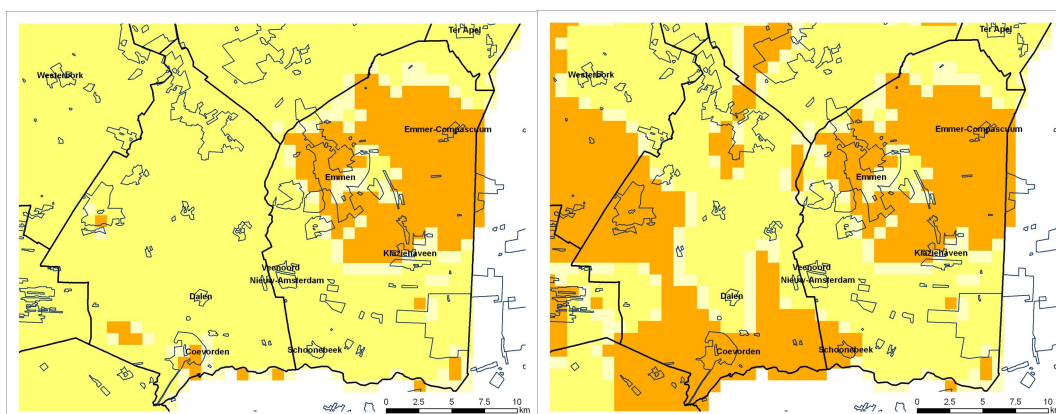
5.3 Uitwerking energiepotentiekaarten WKO en geothermie voor Zuidoost-Drenthe (Emmen/Coevorden)




In de SREX-case studie voor de regio Zuidoost-Drenthe (Emmen/Coevorden) is vanuit de hiervoor beschreven potentiekaarten nader ingezoomd op de ondergrondse energiepotenties voor WKO en geothermie in die regio.

Figuren 5.4a en 5.4b tonen uitsneden (en vergrotingen) van de WKO-kaarten van figuren 5.2a en 5.2b voor Zuidoost-Drenthe. (N.b. omdat deze op exact dezelfde datasets zijn gebaseerd als de oorspronkelijke kaarten kunnen ze niet worden ingezet voor een meer gedetailleerde interpretatie. De modellen en datasets zijn geschikt voor interpretatie op een schaal van ca. 1km).

Uit de kaart van figuur 5.4a kan worden opgemaakt dat de meeste delen van het gebied geschikt zijn voor aanleg van warmte- en koudeopslag, met uitzondering van gebiedsdelen ten oosten van Emmen, rond de plaatsen Emmer Compasuum en Barger Compasuum. Hier zijn te weinig geschikte aquifers aanwezig. Omdat de kaarten een regionaal beeld laten zien betekent dit niet dat warmte- en koudeopslag ergens lokaal in deze 'oranje' gemarkeerde gebieden onmogelijk is, maar succesvolle toepassing is wel minder waarschijnlijk. Als er goede reden voor is – bijvoorbeeld ruimtelijke ontwikkelingen met een substantiële warmte- en koudevraag – dan is het alsnog aan te bevelen om ook in deze gebieden de mogelijkheden voor WKO in meer detail te onderzoeken.

Uit de kaart van figuur 5.4b kan worden opgemaakt dat er grotere gebieden minder geschikt worden ingeschat voor WKO, als ook rekening wordt gehouden met de ondergrondse zoet/zout-overgangen, zoals bijvoorbeeld in de gemeente Coevorden. Ook in deze gebieden wordt meer gedetailleerd onderzoek naar de mogelijkheden aanbevolen als ruimtelijke ontwikkelingen daartoe voldoende aanleiding geven, vooral omdat er in principe wel potentieel productieve aquifers aanwezig zijn. Een deel van dat onderzoek zou zich dan kunnen richten op een duurzame aanleg en exploitatie waarmee ongewenste menging van zoet en brak of zout grondwater wordt voorkomen.



ΔT	5° C	10° C
	0 - 4200	0 - 8400
	4200 - 8400	8400 - 16800
	8400 - 12600	16800 - 25200

 No suitable aquifers available

Energie in MJ/ ha/ dag

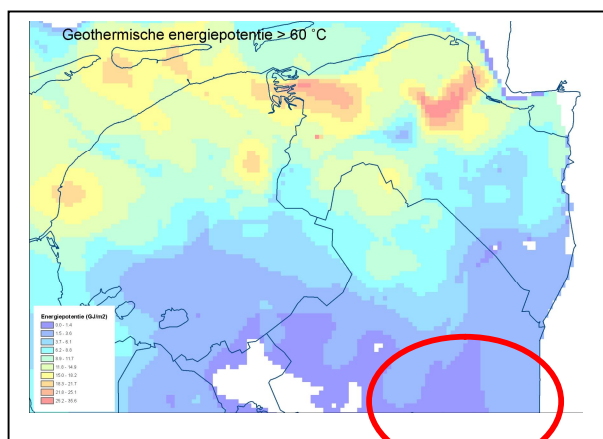
(energieverbruik voor verwarming van 100 woningen \approx 5000 MJ / dag)

Figure 5.4a Energiepotentiekaart voor warmte- en koudeopslag in aquifers, Zuidoost-Drenthe

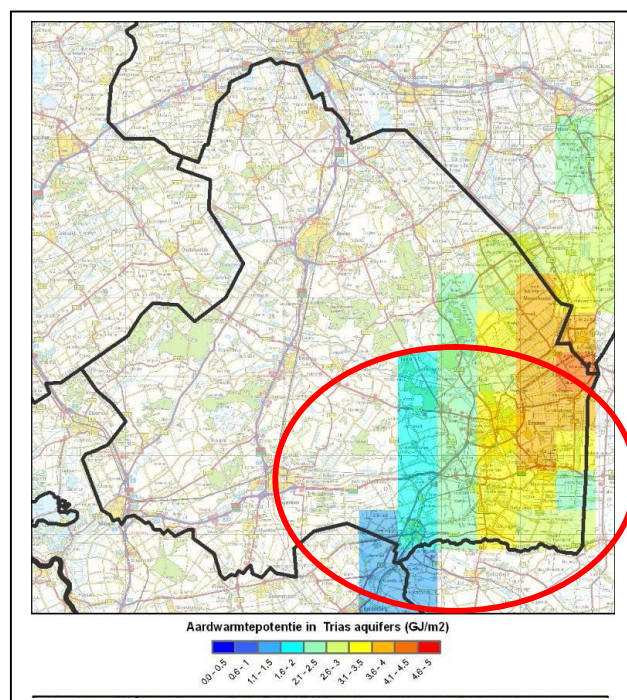
Figure 5.4b Energiepotentiekaart voor warmte- en koudeopslag in aquifers, rekening houdend met restricties met betrekking tot zoet-zoutovergangen in de ondergrond, Zuidoost-Drenthe

Voor de geothermie-potenties kan worden ingezoomd op de kaart van figuur 5.3 (nogmaals weergegeven in figuur 5.5a). In grote lijnen valt op dat de geothermische potenties in Noord-Drenthe groter worden verondersteld dan in Zuidoost-Drenthe. In Noord-Drenthe bevindt zich namelijk een deel van de geologische 'Slochteren' formatie met aquifers die worden gekenmerkt door een zeer geschikte combinatie van dikte, permeabiliteit en temperatuur. Desondanks is geothermische energie in Zuidoost-Drenthe niet noodzakelijk afwezig. In deze regio vinden we zogenaamde Trias-formaties, die ook aquifers met geothermische potenties kunnen bevatten. Schattingen hiervan zijn weergegeven in de kaart van figuur 5.5b. Belangrijkste verschillen met de Slochteren formaties zijn de kleinere diktes van de Trias-aquifers en de ondiepere ligging (2000-3500 meters), waardoor de temperaturen lager zijn (60-100 °C). De hoogste energiepotenties van de Trias aquifers kunnen worden gevonden rond Emmen en dichtbij ten (noord-)oosten en zuiden ervan.

Enige tijd geleden hebben de Provincie Drenthe en gemeente Emmen gezamenlijk een opsporingsvergunning aangevraagd voor onderzoek naar de mogelijke toepassing van geothermie ten oosten van Emmen waarmee energie geleverd zou kunnen worden aan een aantal glastuinbouwlocaties. Deze vergunning is in 2010 afgegeven door het Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie. Dit jaar wordt de technische en financiële haalbaarheid in kaart gebracht. Naar verwachting kan in 2012 met boren worden gestart en is in 2013 het project gerealiseerd (Platform Geothermie, 2011).



Figuur 5.5a Geothermische potentie (op basis van meerdere formaties/ aquifers; zie ook fig. 5.3 en toelichting)



Figuur 5.5b Geothermische potentie Zuidoost-Drenthe (alleen Trias aquifers)

(Bron: TNO, 2006)

6 Referenties

Benner, J.H.B., Schepers, B.L., Spaans, F., **Energie uit water, Een zee van mogelijkheden**, Publicatienummer 09.3791.10, in opdracht van Deltares/ WINN – Waterinnovatie Rijkswaterstaat, Delft, CE, 2009

Bosatlas van Ondergronds Nederland, Noordhoff Uitgevers bv, Groningen, 2009

Deltares (2008), **Onze Delta – Feiten, mythen en mogelijkheden, Staat en toekomst van de delta 2008 – eerste stap**, februari 2008

IF Technology (1996), **Effectenstudie Warmteopslag Hooghe Burch Zwammerdam**, 2/9605/AW, november 1996

Gasunie, **Ondergrondse gasopslag Zuidwending in gebruik genomen**, persbericht, Groningen, 14 januari 2011
(<http://www.gasunie.nl/gu/nieuws/ondergrondse-gasopslag-zuidwending-in-gebruik-genomen>)

Ministeries van VROM, LNV, VenW en EZ (2004), **Nota Ruimte**

Novem (2001), **Bodemgeschiktheid voor toepassing van verticale bodemwarmtewisselaars**, Kaart + toelichting opgesteld door TNO en IF Technology, NOVEM-bestelnummer 2WPWB01.06 (Novem is opgegaan in huidig Agentschap NL)

Nuon (2009), **Duurzame koude in Amsterdam Zuidas, Ervaringen**, presentatie voor Warmtenetwerk-deelnemers op “Dag van Duurzame Koudenetten”, door Ronald Roelen, Nuon Warmte, 11 juni 2009

Provincie Drenthe (2010), **Structuurvisie Ondergrond**, Statenstuk 2010-454, Assen, 2010

Platform Geothermie (2011), **Intentieverklaring tuinders in Emmen**, nieuwsbericht van 27 januari 2011 (<http://geothermie.nl/actueel/nieuws/nieuws-single-display/article/intentieverklaring-tuinders-in-emmen/>)

Taskforce WKO, **Groen licht voor Bodemenergie**, Advies Taskforce WKO 23 maart 2009

TCB (2009), **Advies Duurzaam Gebruik van de Bodem voor WKO**, Technische Commissie Bodem, TCBA050(2009), Den Haag

TNO (2006), **Verkenning naar de mogelijkheden voor de opslag van CO₂ en het gebruik van aardwarmte in de provincie Drenthe**, TNO-rapport NITG 2006-U-R0023/B; TNO Bouw en Ondergrond, Utrecht

Willemsen, Guus (2010), **Hoge temperatuurwarmteopslag; Stand van zaken in NL** (presentatie Nieuwegein, 12 maart 2010), IF-Technology