

Warmtenetten maken de distributie van industriële restwarmte of duurzame warmte mogelijk. De warmtevraag en het aanbod sluiten in de tijd echter niet goed op elkaar aan. Zo is de vraag naar warmte het grootst in de winter, terwijl productie van industriële restwarmte constant is en die van duurzame zonnewarmte variabel en vooral in de zomer plaatsvindt. Om die reden is er onderzoek [1] gedaan naar tussentijdse warmteopslag in de bodem waarbij onder meer is gekeken naar hogetemperatuuropslag (НТО). Het blijkt dat ondergrondse zandlagen voldoende mogelijkheden bieden om de warmtenetten duurzamer, robuuster en toekomstbestendiger te maken.

Tekst: ing. Marjolein de Wit-Blok, freelance journaliste.

Fotografie: Ton Borsboom

De meerwaarde van (hogetemperatuur)warmteopslag voor warmtenetten

DUURZAME WARMTE

Warmtenetten bestaan uit een grote hoeveelheid leidingen en pompen die warmte verplaatsen van een bron naar een gebruiker. Hierbij wordt gebruikgemaakt van warmtewisselaars en water als transportmedium. Bij veel warmtenetten is de levering vanuit de bron relatief constant. Denk hierbij aan warmtekrachtcentrales, industriële restwarmte of geothermie. De vraag is echter niet constant, maar varieert zowel binnen een dag als de seizoenen.

Warmteopslag

Deze zogenaamde 'temporele mismatch' is te compenseren door gebruik te maken van warmteopslag. Martin Bloemendal, onderzoeker bij het KWR Watercycle Research Institute: 'Zonder warmteopslag verzorgt het continue aanbod, de baseload, de basis van de warmtevraag en wordt de variabele vraag opgevangen door conventionele, vaak fossiele, warmtevoorziening, waardoor een groot deel van de continue warmteproductie niet wordt benut. Hoe deze balans voor een warmtenet uitvalt is afhankelijk van de

manier waarop de totale warmtevraag zich verhoudt tot de warmte die kan worden geleverd.'

Een complicerende factor in deze is ook de onzekerheid over ontwikkelingen in de toekomst waardoor de verhouding tussen vraag en aanbod kan veranderen. Aan de vraagzijde kunnen bijvoorbeeld de isolatiewaarden van een woning stijgen en zullen warmtenetten waarschijnlijk worden uitgebreid. Aan de aanbodzijde bestaat onzekerheid over het voortbestaan van de industrie of energiecentrales. Bovendien zullen de aanbieders – de warmtebronnen – in de toekomst steeds duurzamer worden. Waar met geothermische bronnen een redelijk constant warmteaanbod kan worden gehandhaafd, zullen andere duurzame warmtebronnen, zoals zonnewarmtecollectoren, glastuinbouwoverschotten en eventueel power-2-heat (P2H), bijdragen aan een variabelere warmteaanbod. Tevens zal hierdoor het niet gelijktijdig optreden van aanbod en vraag verder worden vergroot omdat een groter deel van de beschikbare warmte juist in de zomer zal worden geproduceerd; maanden wanneer de vraag laag is.



GAAT ONDERGRONDS

Door deze onzekerheden en de sterke afhankelijkheid van de warmtevragers waar het de beschikbaarheid van voldoende warmte betreft, heeft grootschalige warmteopslag een belangrijke meerwaarde voor een robuuste warmtelevering. Niels Hartog, senior onderzoeker bij KWR: 'Denk hierbij ook aan het inzetten van de opslag als

back-upvoorziening voor situaties waarin de warmtebron tijdelijk wegvalt of wanneer je de benodigde baseload wilt verkleinen. Je maakt dan gebruik van de zogeheten redundante warmte: warmte die beschikbaar is in de opslag, maar normaal gesproken in een jaar niet wordt ingezet. Door het gebruik van deze redundante warmte is het niet nodig in deze specifieke situaties conventionele, niet duurzame, warmtebronnen aan te spreken.'

→> OPSLAG IN DE BODEM
BLIJKT EEN RELATIEF
GOEDKOPE OPTIE VOOR
HET OPSLAAN VAN GROTE
HOEVEELHEDEN WARMTE

Ondergrondse opslag

Er zijn veel verschillende manieren om warmte tijdelijk op te slaan (tabel 1). Opslag in de bodem blijkt een relatief goedkope optie voor het opslaan van grote hoeveelheden warmte. Bovendien bespaart ondergrondse opslag ruimte bovengronds en zijn er in Nederland meer dan voldoende geschikte bodemlagen voor dit doeleinde.

Bij het gebruik van de ondergrond voor warmteopslag wordt water met een hogere temperatuur dan het omringende grondwater via putten geïnjecteerd in ondergrondse

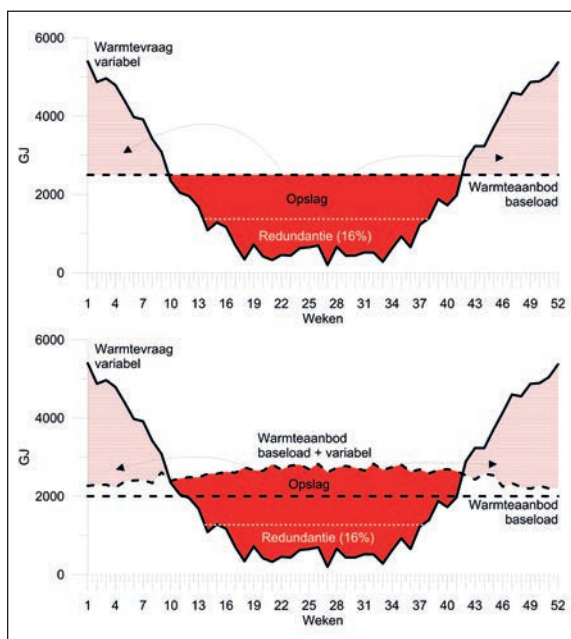
| | capaciteit [MWh] | vermogen [MW] | aanleg kosten [€/kWh] | efficiëntie [%] |
|--|------------------|---------------|-----------------------|-----------------|
| phase change materials (PCM) | 0,050 - 0,15 | 0,001 - 1 | 10 - 50 | 75 - 90 |
| thermo chemical materials (TCM) | 0,012 - 0,25 | 0,010 - 1 | 8 - 100 | 75 - 100 |
| warmwateropties | | | | |
| - bovengrondse buffertank | 500 - 5.000 | 0,1 - 5 | 0,50 - 3 | 75 - 90 |
| - ondergrondse buffertank | 500 - 5.000 | 0,1 - 20 | 0,50 - 10 | 75 - 90 |
| - open bodemenergie HTO | 1.000 - 500.000 | 0,5 - 200 | 0,05 - 0,1 | 50 - 90 |
| - open bodemenergie wko | 10 - 100.000 | 0,2 - 40 | 0,10 - 0,4 | 75 - 95 |

Tabel 1: Eigenschappen verschillende opslagmedia voor warmte.

Toelichting tabel 1. De PCM's en TCM's kunnen op een vrachtwagen worden getransporteerd en zijn mede door de relatief korte opslagcycli (uren/dagen) flexibel inzetbaar. Door de hoge energiedichtheid zijn deze direct toepasbaar in vloeren, muren en/of plafonds. De warmwateropties zijn minder makkelijk te verplaatsen en hiermee geschikt voor langere opslagcycli (weken/maanden).

zandlagen (aquifers) en weer onttrokken op het moment dat er een verwarmingsbehoefte is. Deze toepassing van de ondergrond is niet nieuw; in Nederland is er al meer dan 25 jaar praktijkervaring met ondergrondse wko-systemen, waarvan er inmiddels zo'n 2.000 operationeel zijn. Het grootste deel van die wko-systemen heeft een opslagvolume tot 500.000 m³ terwijl enkele honderden systemen een capaciteit bieden van enkele miljoenen m³. Hartog: 'Vergis je niet in de grootte van deze ondergrondse opslag-

mogelijkheden. Deze opslagvolumes zijn tot duizend keer groter dan de grootste bovengrondse warmteopslagsystemen. De warmtebuffer bij het stadsverwarmingsnet van de Nuon warmtekrachtcentrale in Diemen heeft bijvoorbeeld een capaciteit van 22.000 m³ en kan in de zomer tot maximaal 16 uur warmte leveren. Dit wordt hoofdzakelijk gedaan om te kunnen anticiperen op variabele elektriciteitsprijzen, maar is dus geen optie om de seizoensgebonden mismatch in warmtevraag te bufferen of een serieuze back-up voor een wegvallende warmtevraag te bieden.'



1. Deze badkuip-kromme is een voorbeeld van seizoensvariatie van de warmtevraag gedurende een jaar en de temporele mismatch-tussen het aanbod van en de vraag naar warmte. De bovenste figuur toont het aanbod als constante baseload (bijvoorbeeld restwarmte of geothermie), terwijl de onderste figuur hier duurzame variabele warmtebronnen aan toevoegt. Met warmteopslag kan de beschikbare warmte optimaal worden benut door ook in de piekvraag te voorzien. Warmteoverschotten kunnen als redundante warmte worden opgeslagen als back-upvoorziening. Met gelijke redundantie (16 procent) leidt de benutting van variabele duurzame warmtebronnen in dit voorbeeld tot een reductie van de benodigde baseload met 20 procent (2.500 naar 2.000 GJ).

Hogetemperatuuropslag

Hoewel de ondergrondse opslagvolumes bij wko-systemen ten opzichte van bovengrondse varianten dus relatief groot zijn, liggen de temperaturen waarbij de warmte wordt opgeslagen (gewoonlijk <16 °C) vele malen lager dan bij de distributie (en opslag) in een warmtenet. De bronnen voor huidige duurzame warmteproductie voor warmtenetten leveren namelijk warmte op een temperatuurniveau van 50 – 80 °C. Ook toekomstige alternatieve en duurzame warmtebronnen voor grootschalige warmtenetten, zoals zonnewarmte, komen op een vergelijkbaar temperatuurniveau beschikbaar. Om warmtenetten in combinatie met warmteopslag nog duurzamer te maken, wordt onderzoek gedaan naar mogelijkheden om het water met een veel hogere temperatuur op te slaan: hogetemperatuuropslag of HTO. Dit onderzoek is belangrijk omdat het voornamelijk niet is toegestaan om water met deze temperaturen in de bodem op te slaan. Het biedt echter wel de nodige voordelen.

Praktische bezwaren

Wettelijk gezien mag er in wko-systemen geen water met een temperatuur hoger dan 25 °C worden opgeslagen. Hierdoor is bij wko-systemen de additionele en significante inzet van een warmtepomp nodig om aan de warmtevraag te kunnen voldoen. Een warmtenet met een buffer die hogere temperaturen (> 30 – 100 °C) kan opslaan, kan echter zonder toepassing van een warmtepomp de gebouwen van nuttige warmte voorzien. Dit maakt de warmtevoorziening duurzamer, omdat de voor de warmtepomp benodigde elektriciteit komt te vervallen. In

conventionele bodemenergiesystemen kan dit oplopen tot 60 procent van het energiegebruik.

Met de koppeling van warmtenetten aan HTO-systemen is in het buitenland al beperkte praktijkervaring, zoals bij de Rijksdag in Berlijn. Ook in Nederland zijn er, ondanks de wettelijke beperking op maximale injectietemperatuur, sinds de jaren tachtig al verschillende HTO-pilots gerealiseerd en zijn er tegenwoordig ook verschillende HTO-systemen operationeel.

Bloemendal: 'De realisatie van nieuwe HTO-systemen in

Nederland vindt vooralsnog kleinschalig plaats bij locaties met een duidelijke netto warmtevraag. Om de risico's voor grondwaterkwaliteit en mogelijke drinkwaterproductie te beperken, wordt de realisatie van recente HTO-systemen alleen toegestaan in brakke of zoute aquifers. Dit type aquifers is in het grootste deel van de Nederlandse ondergrond aanwezig op tien- tot honderdtallen meters diepte, vooral in het westelijk deel. Recente realisaties van HTO-systemen in het Westland, Wageningen en Haarlem, tonen aan dat er een groeiende ruimte is voor HTO met het oog op verdere

Centrale verduurzaming van het Amernet

Het huidige Amernet maakt voor 95 procent gebruik van warmtelevering vanuit centrale opwekking.

De verwachting is dat na 2024 deze centrale warmtelevering 100 procent duurzaam kan worden opgewekt. Hiervoor zijn drie mogelijkheden:

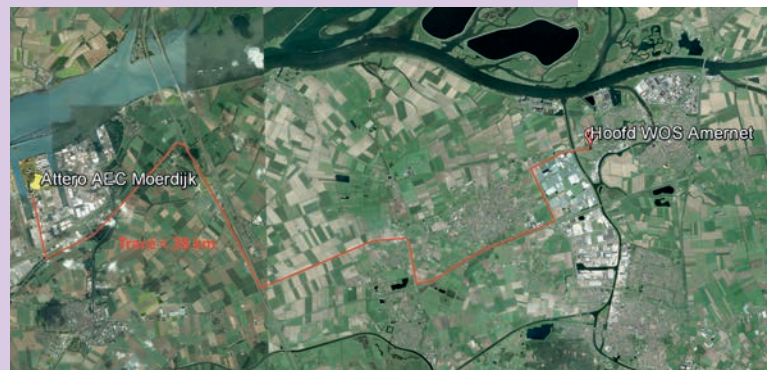
- Biomassa verbranden in aparte centrales;
- biomassa verbranden in de Amercentrale;
- gebruikmaken van de afvalwarmte van Attero en restwarmte uit de industrie.

De biomassavarianten zijn in Geertruidenberg voorzien, terwijl de afval- en restwarmte uit Moerdijk moet komen. In dat laatste geval is een transportleiding van Moerdijk noodzakelijk naar de huidige plek waar de leidingen naar Breda en Tilburg worden gesplitst (figuur 2).

Ewald Slingerland, senior consultant bij Greenvis:

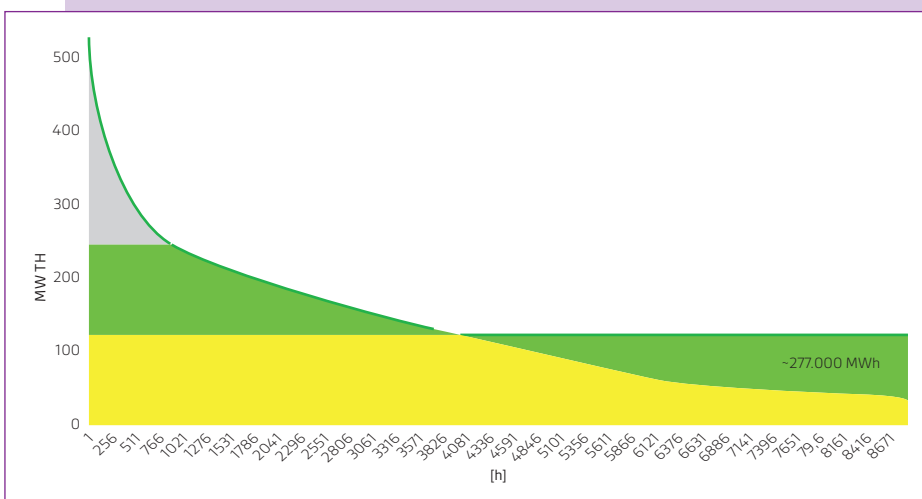
'Het gaat hierbij om ruim 500 MW piekvermogen aan warmte. Wanneer een of enkele grootschalige opslagsystemen kunnen worden gerealiseerd op strategische plekken in of rond Breda en Tilburg, is het mogelijk het transportvermogen van de leiding vanuit Moerdijk te verlagen.'

Een verlaging van 250 naar 125 MW betekent een verlaging in investeringskosten van ongeveer 80 miljoen euro (figuur 3). Dit geldt dus als investeringspotentieel



2. Weergave van de transportleiding van Moerdijk naar de huidige plek waar de leidingen naar Breda en Tilburg worden gesplitst.

voor de grootschalige opslag van ruim 275.000 MWh (≈ 1 PJ). Op basis van een temperatuurverschil in opslag van 40 °C betekent dit een nuttige inhoud van ongeveer 6 miljoen m³. De investeringsruimte voor een grootschalig ondergronds warmteopslagsysteem bedraagt in dit geval dus 10 tot 15 €/m³, wat overeenkomt met 0,25 - 0,35 €/kWh. Op basis van tabel 1 lijkt hier een dergelijk systeem dus rendabel te exploiteren.



3. Voorbeeld jaarbelasting-duurkromme warmtenet.



In het buitenland, onder meer bij de Rijksdag in Berlijn, is al beperkte praktijkervaring met de koppeling van warmtenetten aan HTO-systemen.

verduurzaming van Nederland. Het is voor de ontwikkeling van warmtenetten daarom van belang om de meerwaarde van de toepassing van ondergrondse warmteopslag scherp te krijgen evenals de benodigde randvoorwaarden waaronder deze optimaal kan bijdragen aan het functioneren van een warmtenet.'

Hartog: 'Een van de meerwaarden betreft het verduurzamen van de gebouwde omgeving. Het gaat hierbij niet alleen om goed geïsoleerde gebouwen – nieuwbouw, met systemen op lagere afgiftetemperatuur, zoals vloerverwarming – maar ook bestaande gebouwen. Dit laatste is een belangrijk gegeven aangezien 80 procent van de woningen in 2050 er nu al staat. Met een relatief beperkte maatregel, zoals het vervangen van bestaande radiatoren door laagtemperatuurradiatoren, kan de aanvoertemperatuur van zo'n warmtenet naar 60 °C of lager, zonder dat er verregaande

isolatie en vloerverwarming in bestaande woningen hoeft te worden toegepast. Dit kan voor een deel van de woningen in Nederland een goede manier zijn om te verduurzamen.'

HTO in de praktijk

Om een ondergronds warmteopslagsysteem in combinatie met een bestaand of te ontwikkelen warmtenet maximaal te benutten wat betreft het overbruggen van de temporele mismatch en de warmtebuffercapaciteit, zijn twee aspecten van belang. Ten eerste is dat de capaciteit van de warmteopslag (MJ) en ten tweede het vermogen (MW) waarmee warmte uit de ondergrondse opslag moet kunnen worden geleverd. Beide hangen af van de grootte en aard van de te voorziene warmtevraag.

De capaciteit voor warmtelevering uit een ondergrondse warmteopslag wordt bepaald door het volume en het tem-

30.000 woningen verwarmen vanuit een HTO

Voor een woonwijk met de grootte van Leidsche Rijn (30.000 woningen) is in kaart gebracht hoe het systeem eruit zou zien dat deze hele wijk vanuit een HTO van warmte kan voorzien en welke kosten hierbij horen. Er wordt uitgegaan van twee verschillende gebieden in Nederland; een aquifer met beperkte dikte (30 m), zoals daadwerkelijk op de locatie van Leidsche Rijn (Utrecht), en een dikkere aquifer van 100 m, zoals in Amsterdam (tabel 2).

Voor de energievraag is uitgegaan van 20 GJ per woning per jaar en een conservatief temperatuurverschil tussen opslag- en retourbron van 20 °C, wat resulteert in een opslag volume van ruim 7 miljoen m³/a. Het aantal bronnen dat nodig is wordt bepaald door het maximale piekvermogen dat nodig is om te kunnen leveren; hierbij is uitgegaan van 2.000 vollast-uren aan warmtelevering.

| | Utrecht | Amsterdam |
|--|---------|-----------|
| dikte aquifer [m] | 25 | 100 |
| aantal doublets [-] | 65 | 13 |
| aanlegkosten [M€] | 5 | 4 |
| bovengronds ruimtebeslag 'footprint' [%] | 0,4 | 0,1 |

Tabel 2. Vergelijking tussen twee verschillende gebieden.

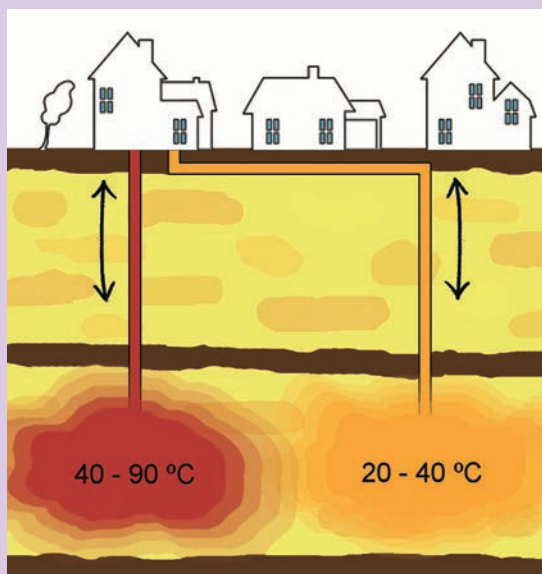
peratuurverschil van het onttrokken en weer in de bodem geïnfilterde water. De opslagtemperatuur moet dus zo hoog mogelijk zijn en de temperatuur van de retourbron zo laag mogelijk om zoveel mogelijk energie uit te nutten. De temperatuur van opslag en retour zijn vooral afhankelijk van de warmtebron en de temperatuurtrajecten in de installaties van de afnemers.

In de praktijk is op kleinere schaal de meeste ervaring opgedaan met ondergrondse opslag bij temperaturen tot 100 °C, en enkele daarboven (gebruikmakend van de aanwezige hydrostatische druk bij ondergrondse opslag). Vanzelfsprekend moeten de verliezen die bij warmteopslag in de bodem optreden zo laag mogelijk zijn. Deze verliezen treden op langs de randen van de opslag in de bodem. Bij grootschalige opslag zullen deze warmteverliezen relatief beperkt zijn omdat met toenemende grootte van de warmteopslag het oppervlak van die randen in verhouding kleiner wordt. Op basis van inzichten uit de Nederlandse wko-praktijk en de relatief kleine HTO-pilots zijn voor grootschalige warmteopslag rendementen van rond de 90 procent te verwachten.

Hartog: 'Ter illustratie: bij een opslagtemperatuur tot 100 °C kan met een opslagvolume van meer dan 1 miljoen m³ grondwater enkele maanden worden overbrugd op basis van de eerder genoemde kentallen voor de warmtebuffer in Diemen. Wko-systemen van deze omvang komen veelvuldig voor in Nederland.'

Koppeling warmtenet

Voor een optimale koppeling van een ondergronds warmteopslagsysteem aan een warmtenet zijn er flink wat afwegingen te maken. Hoe deze eruit zien is grotendeels afhankelijk van warmtenet-specifieke condities. Zo blijkt



4. Een voorbeeld van een wijk ter grootte van Leidsche Rijn waar de huizen vanuit een HTO van warmte worden voorzien.

Ondergrondse HTO: de voordelen

Ondergrondse warmteopslag met temperaturen die aansluiten bij die van warmtenetten, lijkt een belangrijke bijdrage te kunnen leveren aan de mogelijkheid om warmtenetten duurzamer, robuuster en toekomstbestendiger te maken.

Ondergrondse HTO:

- Maakt warmtevoorziening flexibel: vraag en aanbod kunnen eenvoudig met elkaar in evenwicht worden gebracht.
- Kan grote hoeveelheden warmte opslaan; perioden zonder of weinig warmteproductie door eventueel het tijdelijk wegvallen van warmtebronnen, zijn eenvoudig op te vangen.
- Verhoogt de efficiëntie van warmteopslagsystemen: hoge temperaturen maken de inzet van warmtepompen overbodig waarmee de benodigde elektriciteit (voor de werking van warmtepompen) komt te vervallen.
- Is geschikt voor de opslag van warmte afkomstig van duurzame warmtebronnen, zoals zonnecollectoren, geothermische bronnen en Power-2-Heat.

uit het verkennen van de investeringsafwegingen voor de beoogde verduurzaming van het Amernet dat het opnemen van ondergrondse warmteopslag bij de ontwikkeling van een warmtenet tot significante reductie van de benodigde leidingdiameters en vergroting van de investeringsruimte leiden. Ook de optimale technische eigenschappen, zoals temperatuurniveau, capaciteit en benodigd vermogen, zijn locatie-afhankelijk. Deze volgen uit de eigenschappen van aanbieders en afnemers van de warmte.

Verder vereist het bepalen van de locatie waar het opslagsysteem wordt gekoppeld met het warmtenet aandacht, evenals de vraag of het beter is om verschillende kleinere opslagsystemen toe te passen of één grote.

Bloemendal: 'De geschiktheid van de ondergrond varieert op lokale, gemeentelijke schaal meestal weinig, maar kan voor grotere regionale warmtenetten van invloed zijn op de locatiekeuze voor een ondergrondse warmteopslag. Uit een verkenning op basis van kentallen van de woonwijk Leidsche Rijn blijkt bijvoorbeeld dat verschillen in lokale eigenschappen van de ondergrond in de praktijk tot significante verschillen kunnen leiden voor onder meer het aantal benodigde doublets en de investeringskosten. Uit de twee in de casestudies beschouwde scenario's blijkt ook dat ondergrondse opslag slechts een zeer klein deel van de oppervlakte van het voorzieningsgebied nodig heeft.' <<

Bronnen en verwijzingen

1. Hartog N., Bloemendal J.M., Slingerland E., Wijk A. van, 'Duurzame warmte gaat ondergronds', KWR/Greenvis, Nieuwegein/Utrecht, 2016.