

HOGE TEMPERATUUR OPSLAG VAN WARMTE IN ONDERGRONDSE AQUIFER BIJ AVR DUIVEN

publieke samenvatting | TNO & AVR



Dit project is uitgevoerd met Topsector Energiesubsidie van het Ministerie van Economische Zaken.

**Aanleiding en
doel**

Situatie

Hoe werkt het?

**Kansen /
Uitdagingen**

Onderzoek

**Geologische
eigenschappen**

**Technische
performance**

**Waarde van de
HTO**

**Richting
implementatie**

Juridisch kader

Conclusie

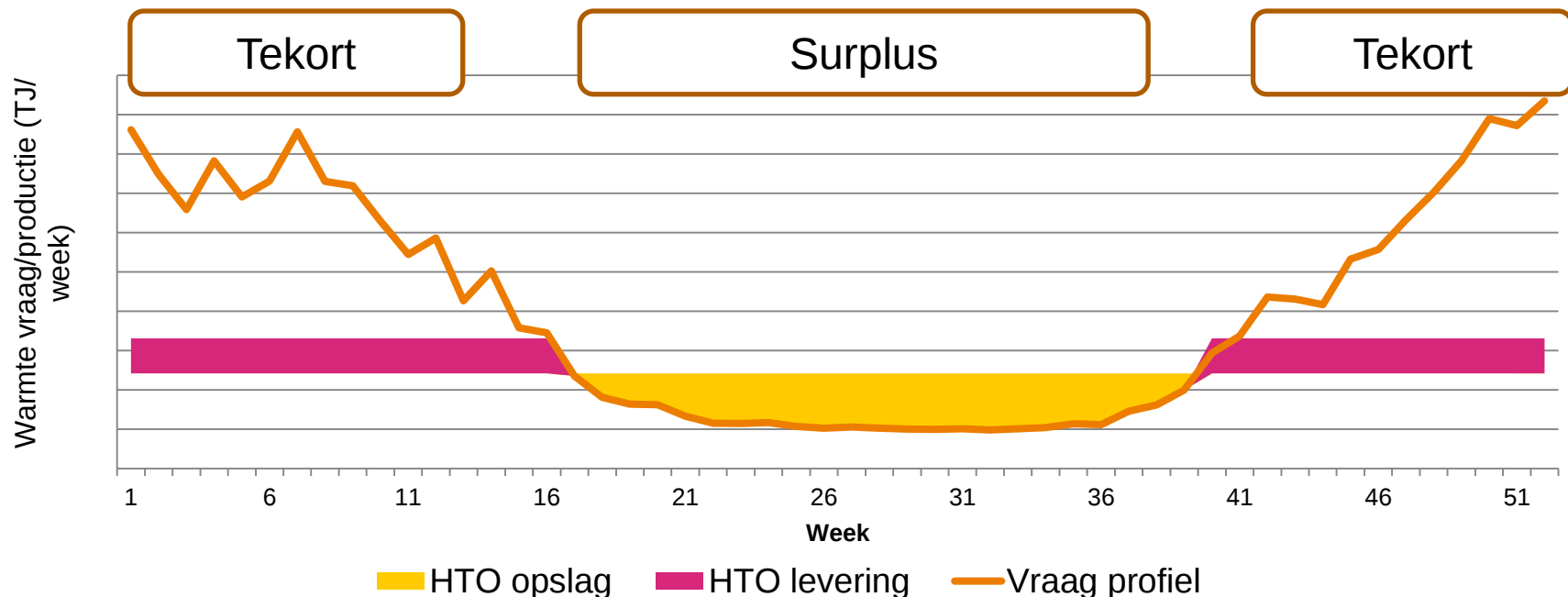
Meer informatie

Klik rechtsonder om terug te
gaan naar de inhoudsopgave

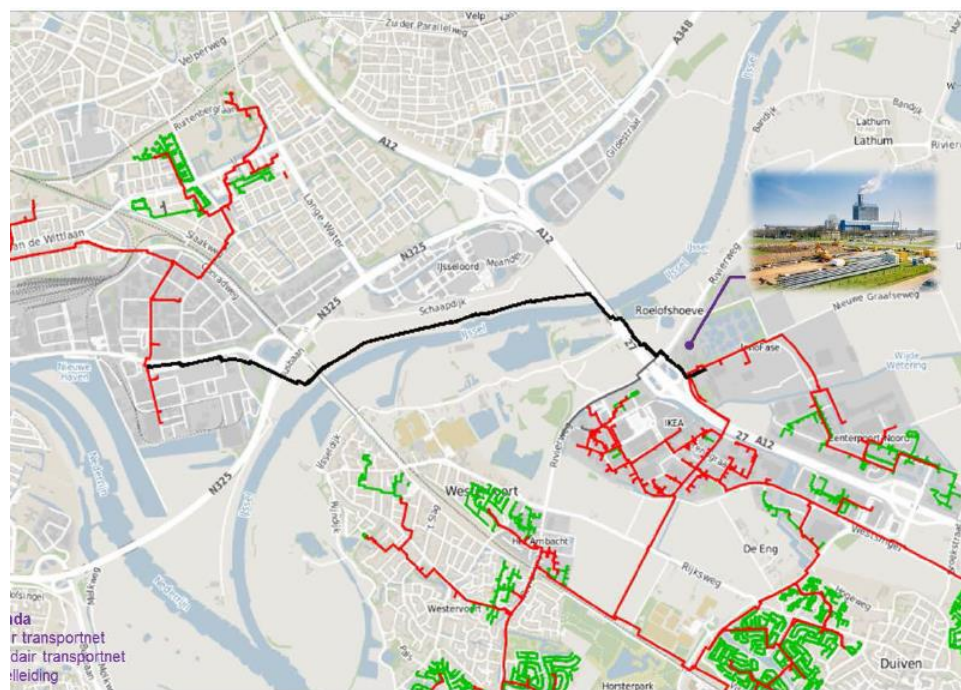


- › Doel: Onderzoeken van de haalbaarheid van een innovatieve, duurzame ondergrondse energieopslag voor AVR Duiven.
- › De ondergrondse energieopslag zal door seizoensgebonden opslag en levering voor een verduurzaming van de AVR en het warmtenet zorgen. Tevens zal het gebruik van ondergrondse energieopslag gepaard kunnen gaan met een kostenreductie op het gebied van warmtevoorziening.

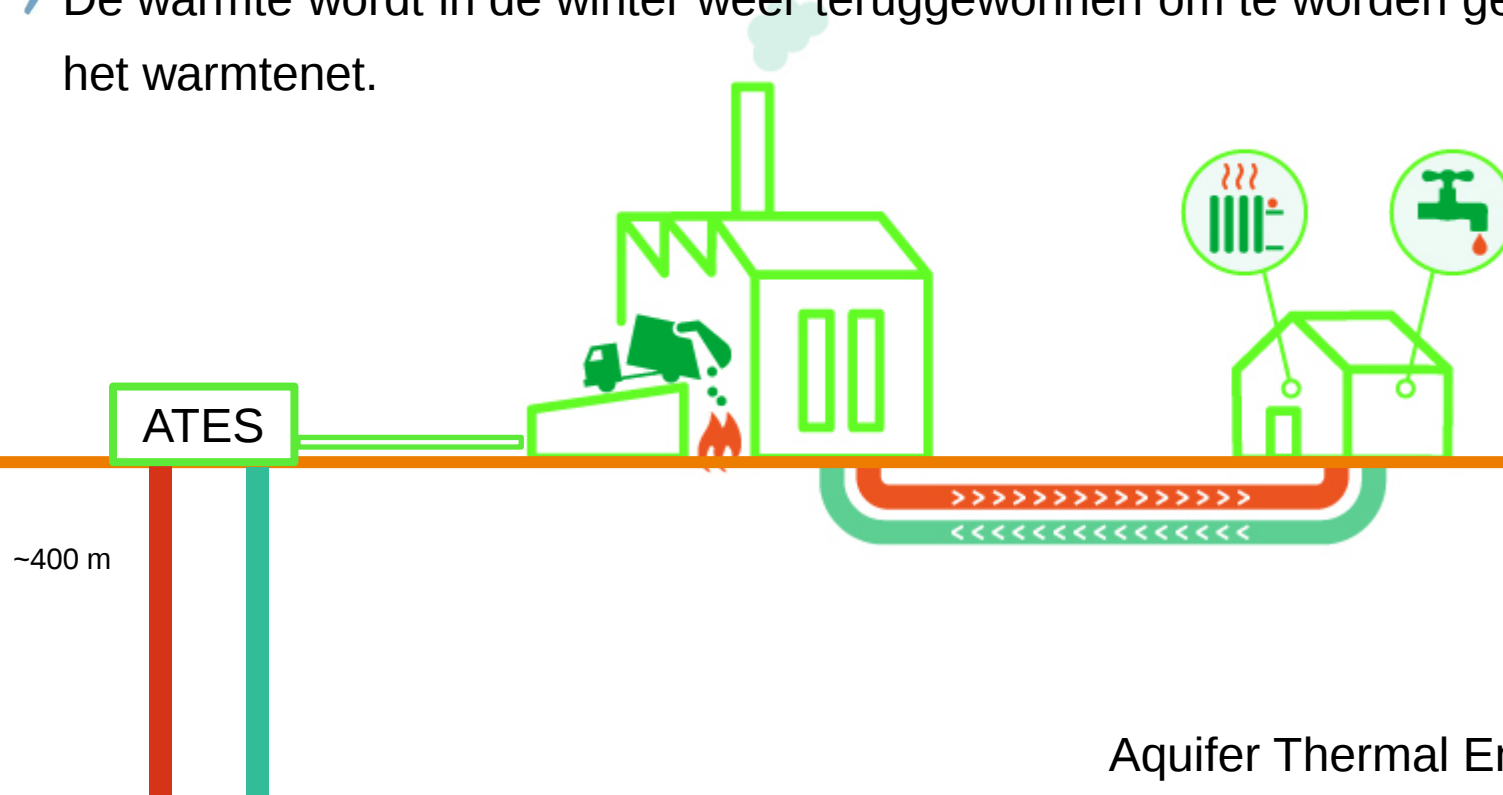
- Seizoensgebonden ondergrondse energieopslag beantwoordt een vraag welke voort komt uit de onbalans in warmtevraag en warmteaanbod gedurende het jaar. Tijdens de zomer is er veelal een overvloed aan energie in de vorm van warmte, de productie van warmte overstijgt dan de vraag. Waarbij het in de winter juist omgekeerd is. Er moet dan vaak duur “bijgestookt” worden om aan de warmtevraag te voldoen, terwijl en juist in de zomer warmte over is.



- › In Duiven beschikt AVR over een efficiënte afval- en energiecentrale. Naast niet-recyclebaar afval wordt ook biomassa in de vorm van papierslib in elektriciteit en warmte omgezet.
- › AVR in Duiven levert deze warmte aan de stadsverwarming van Duiven en Westervoort; en levert elektriciteit aan het openbare net.
- › Nuon en AVR hebben eind 2014 een verbinding gemaakt met de stadsverwarming van het nabij gelegen Arnhem.
- › In 2015 leverde AVR in Duiven 122 GWh elektriciteit aan het openbare net en 880 TJ warmte aan het stadsverwarmingsnet.



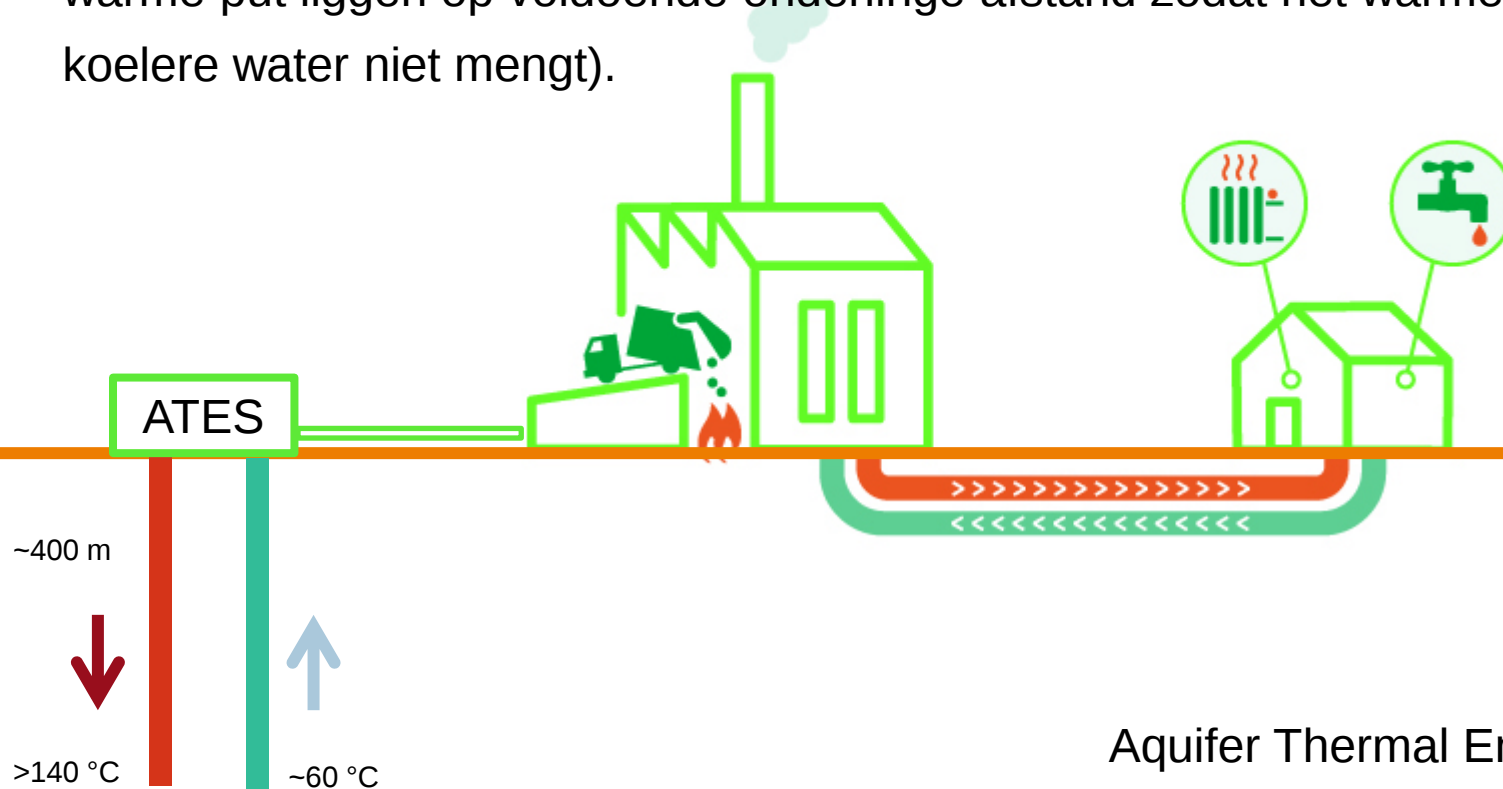
- › Warmte overschot van de AVR in de **zomer** wordt opgeslagen in een ondergrondse aquifer (water houdende laag); een paar honderd meter onder het maaiveld. Water uit de ondergrond wordt opgewarmd met de (rest)warmte van de AVR en vervolgens geïnjecteerd.
- › De warmte wordt in de winter weer teruggewonnen om te worden gevoed aan het warmtenet.



Aquifer Thermal Energy Storage

Graphic: gebaseerd op Deel 2 ontwerpers

- › Water uit de ondergrond wordt opgepompt
- › Water wordt opgewarmd in de warmtewisselaar met (rest)warmte van de AVR tot boven de 140 graden
- › Heet water wordt geïnjecteerd in dezelfde watervoerende laag (de koude en warme put liggen op voldoende onderlinge afstand zodat het warme en koelere water niet mengt).

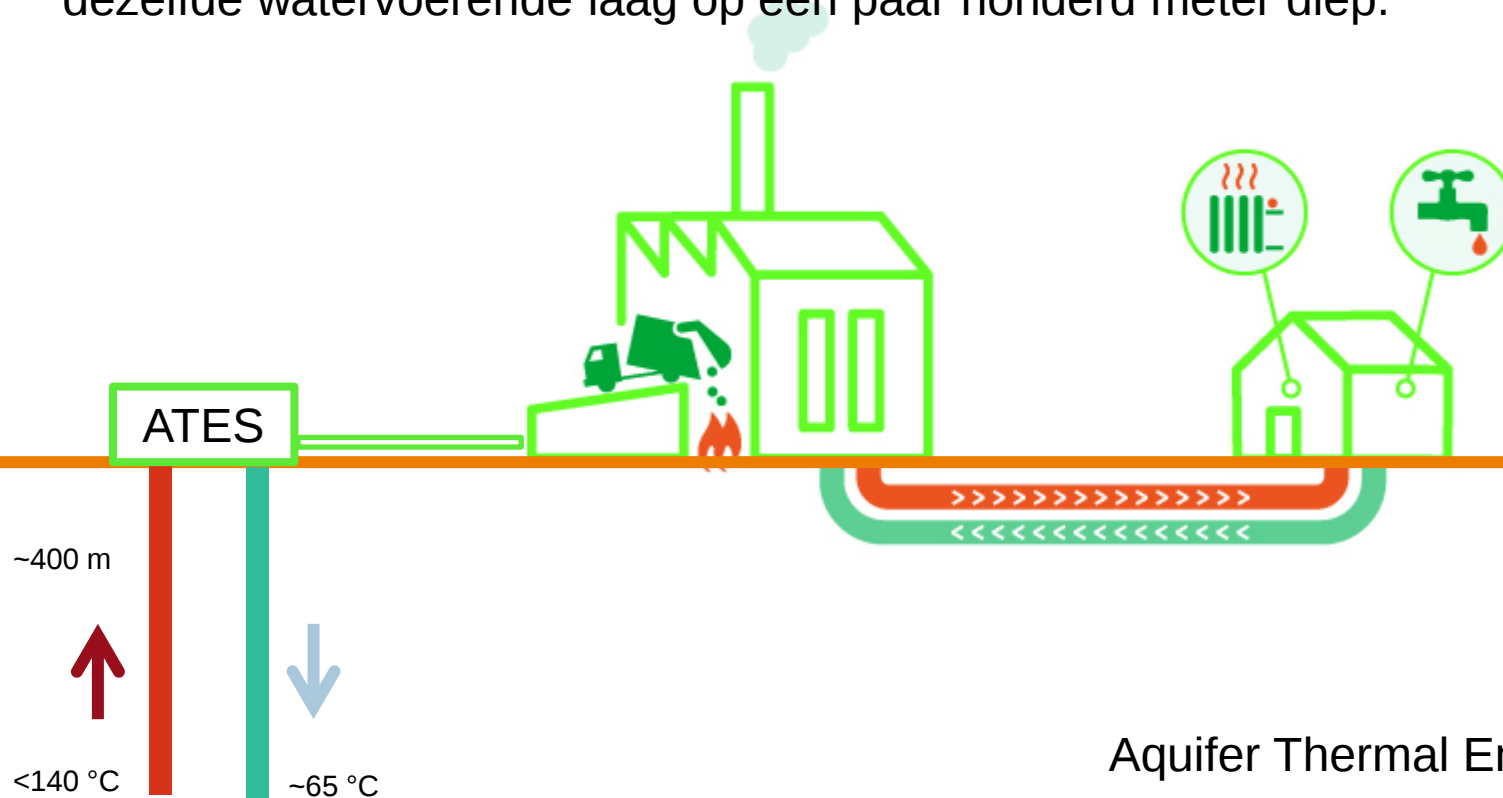


Aquifer Thermal Energy Storage

Graphic: gebaseerd op Deel 2 ontwerpers

Temperaturen zijn indicatief

- › Heet water uit de ondergrond wordt opgepompt
- › Het hete water warmt in de warmtewisselaar water op dat het warmtenet voedt.
- › Het afgekoelde water uit de warmtewisselaar wordt weer geïnjecteerd in dezelfde watervoerende laag op een paar honderd meter diep.

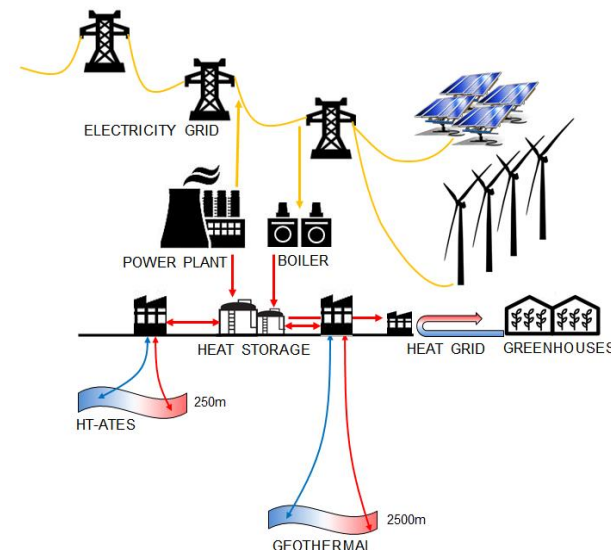
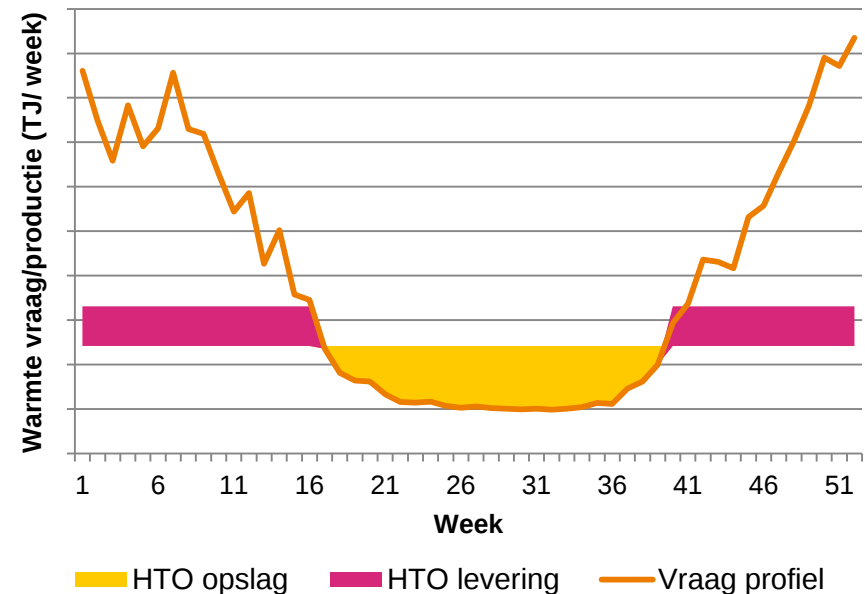


Aquifer Thermal Energy Storage

Graphic: gebaseerd op Deel 2 ontwerpers

Temperaturen zijn indicatief

- › Betere benutting van (rest)warmte
- › Overall hoger rendement elektriciteit en warmtelevering
- › Extra pieklast beschikbaar in de winter
- › Besparing aardgas in hulpketels, en daarmee vermindering CO2 emissies
- › Meer flexibiliteit in vraag/aanbod in het warmtenet
- › Vergroting zekerheid van warmtelevering
- › Uitbreiding van het warmtenet zonder extra ketelvermogen bij te plaatsen
- › Toekomst (zei figuur): power-to-heat mogelijk voor extra flexibiliteit in het elektriciteitsnet (combinatie met zonne-energie)



- › HTO wordt niet breed toegepast in de Nederlandse ondergrond. Uitdagingen met betrekking tot de techniek van de optie en het bijbehorende juridische kader (van idee naar vergunning en inpassing) zijn belangrijke punten die de implementatie ervan beïnvloeden.
- › Belangrijkste uitdagingen (technisch, economisch, juridisch, milieu) worden daarom onderzocht in deze haalbaarheidsstudie
- › De studie kent de volgende werkpaketten (zie figuur).

Subsurface
characterization
& design

System
integration and
economics

Stakeholder
engagement

- › Gedetailleerd in kaart brengen van de ondergrond bij de AVR Duiven ten behoeve van analyses welke de inzetbaarheid van de ondergrondse energieopslag moeten toetsen. De focus ligt hier op geologie, hydrologie, geomechanica en geochemie.
- › Tevens moet onderzocht worden wat de gevolgen van de hoge temperatuur zijn voor de installaties en de ondergrond en hoe we de gevolgen kunnen beïnvloeden ter optimalisatie (tevens levensduur) van de ondergrondse energieopslag. Dit zal op zowel chemisch (neerslag en corrosie) als ook (geo)mechanisch gebied worden onderzocht. Ook zal hierbij worden onderzocht wat de mogelijke beïnvloeding van de ondergrondse energie opslag zou kunnen zijn op het grond- en drinkwater.

- › Het geïntegreerde systeem - de energieproductie bij AVR, het warmtenet en de ondergrondse energieopslag - zal worden onderworpen aan optimalisatieslagen waarbij gekeken zal worden naar kosten en rendement (warmte-/energiestromen) door parameters als waterdrukken, temperaturen en chemie te variëren en dit te vertalen naar het gebruik van materialen, dieptes en mogelijke vergunningen. Tevens zal hier een voorstel ter monitoring en verificatie uit voortvloeien.
- › De uitkomsten zullen op gemeentelijk en provinciaal niveau worden voorgelegd en getoetst aan de huidige regelgeving en opinies op het gebied van ondergrondse energieopslag.

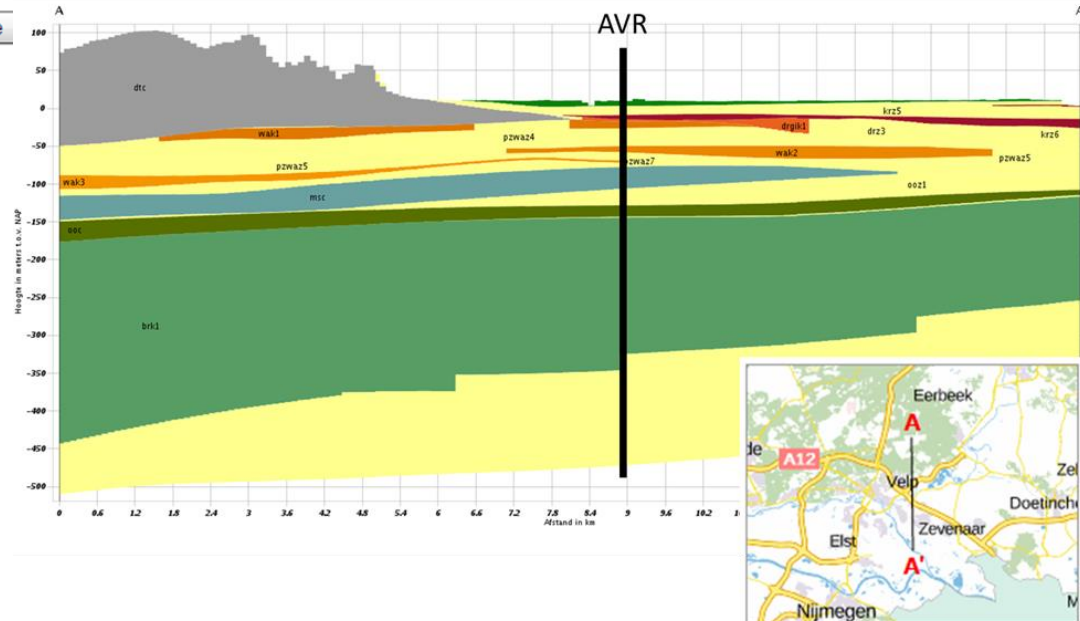
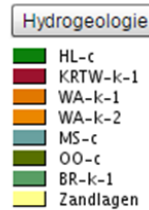
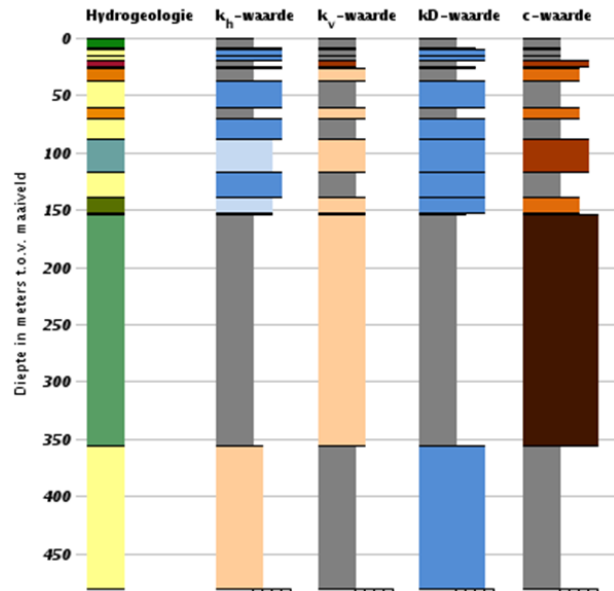
- › De ondergrond op de locatie Duiven is geanalyseerd met behulp van data uit REGIS 2.1. (hydrogeologisch model uit 2009). De ondergrond kan worden gekarakteriseerd en onderverdeeld in lithografische eenheden.

Formatie	Lithologie	Diepte top (m)	Dikte (m)
Holoceen	zand/klei	0	8
Kreftenheye	zand	8	11
Kreftenheye	klei	19	5
Drente	zand	24	3
Peize en Waalre	klei	27	10
Peize en Waalre	zand	37	24
Peize en Waalre	klei	61	9
Peize en Waalre	zand	70	17
Maassluis	zand/klei	87	30
Oosterhout	zand	117	21
Oosterhout	klei	138	15
Breda	klei	153	202
Breda	zand	355	126

Stratigrafische kolom bij de AVR locatie te Duiven. De diepte wordt gegeven ten opzicht van het maaiveld (10.8 m boven NAP).

- › Het doelpakket voor de HTO is de zandlaag van de Breda formatie. De diepte, dikte en stroomeigenschappen van het reservoir of doelpakket maken injectie en productie debieten van 150 m³/uur mogelijk. Bovenwaarden van 200 m³/uur zijn wellicht mogelijk al zal dit wel uitdagingen met zich meebrengen.
- › Boven het Breda-zand bevindt zich meer dan 200 meter dik pakket klei wat een belangrijke barrière betekent voor warmtetransport en verticale stroming.
- › Reservoir eigenschappen met onzekerheidsmarges zijn weergegeven in de Tabel

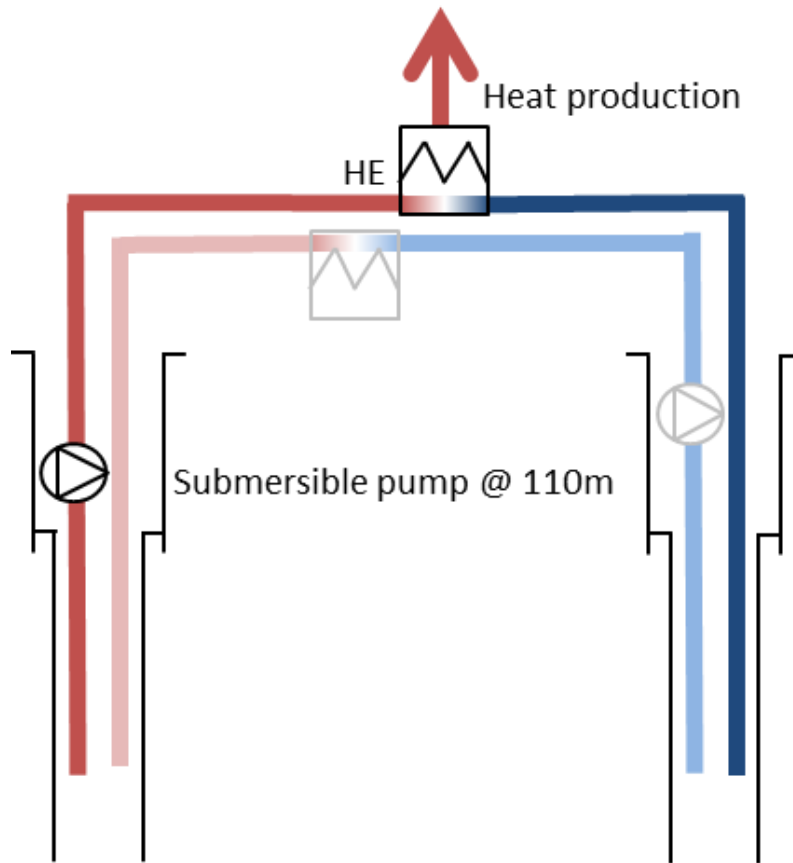
	Min (P90)	Gemiddelde	Max (P10)
top (m)	338	344	350
Dikte (m)	112	125	138
Transmissiviteit (m ² /d)	52	107	162
Transmissiviteit (Dm)	69	125	181



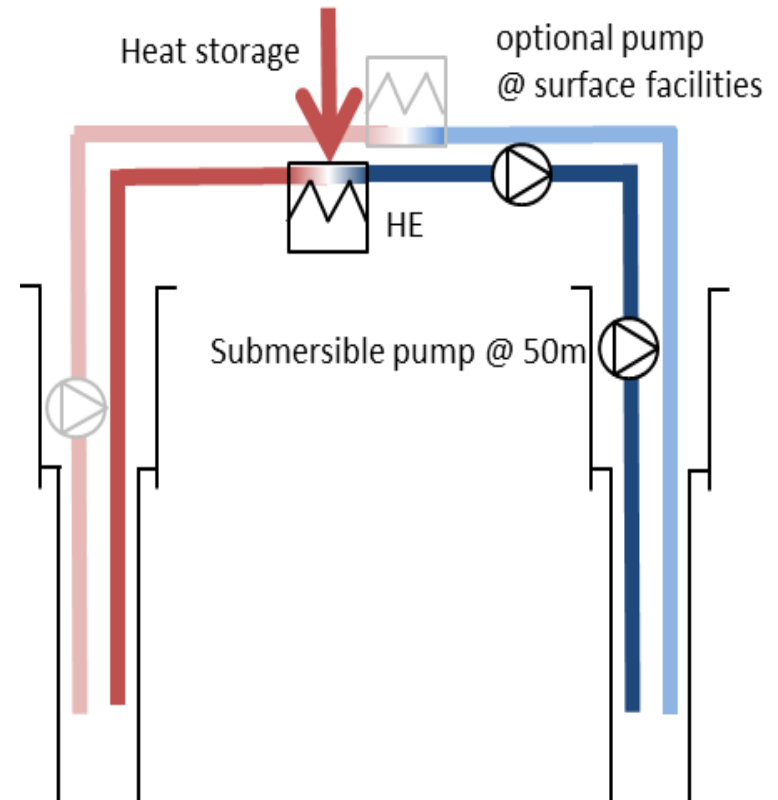
Noord-zuid dwarsdoorsnede met AVR locatie Duiven aangegeven.

Hydrogeologische karakterisatie van de ondergrond op de AVR locatie Duiven. Zandige intervallen zijn geel gekleurd. HL-c: Holoceen complex met zand/klei alternatie. KRTW-k-1: 1^{ste} kleilaag Kreftenheye formatie. WA-k-1: 1^{ste} kleilaag Waalre formatie. WA-k-2: 2^e kleilaag Waalre formatie. MS-c: Maassluis formatie met zand/klei alternatie. OO-c: Oosterhout complex met zand/klei alternatie. BR-k-1: 1^{ste} kleilaag Breda formatie.

› Schematisch ontwerp



Winter



Zomer

- › De HTO kan ongeveer 12 MWth leveren in de winter. Dit vermogen is voldoende om de warmte voor ongeveer 3000 woning-equivalenten te leveren. Deze hoeveelheid woning equivalenten is de verwachte groei van het warmtenet van NUON in Duiven- Westervoort-Arnhem in 2020.
- › Netto zal er in een gemiddeld operationeel jaar ongeveer 30.000 GJ aan warmte niet worden teruggewonnen. Het rendement van het opslagsysteem wordt geschat op ongeveer 80%. De energiebalans en warmteontwikkeling in de bodem vormen belangrijke pijlers van een monitoringsprogramma van een HTO-installatie.

	Zomer	Winter
Modus	Warmte injectie/ laden	Warmte productie/ ontladen
Capaciteit (MWth)	14	12
Infiltratietemperatuur (°Celsius)	140	65
Onttrekkingstemperatuur (°Celsius)	60	132
Verwacht debiet (m ³ / uur)	150	150

- › Door de HTO zal de dekkingsgraad van de door AVR geleverde warmte verbeteren, omdat de in de zomer opgeslagen warmte ingezet kan worden bij de levering van de piekvraag in de winter. Hierdoor hoeven in het net de Hulp Warmte Centrales (HWC) minimaal ingezet worden wat een directe besparing op de inzet van fossiele brandstoffen tot gevolg heeft.
- › In de aanloop naar 2020 zal de HTO niet alle opgeslagen warmte als extra warmte leveren naar het net. In dit geval levert de HTO een verbetering in de elektriciteitsproductie op.

- › **Business case: meerdere aspecten tezamen bepalen de waarde!**
- › Afhankelijk van de specifieke configuratie van de HTO en volume-ontwikkeling aan de vraagkant lijkt een terugverdientijd tussen de 8 en 20 jaar mogelijk

Toename levering
warmte aan
warmtenet

Toename overall
rendement AVR -
installatie

Flexibiliteit in warmte
en
elektriciteitsproductie

Toename
leveringszekerheid

Netuitbreiding
mogelijk zonder
toevoeging extra
(fossiele) bronnen

Toekomst: power-to-
heat. Goedkopere
inpassing duurzame
elektriciteit

- › Een onderdeel van deze haalbaarheidsstudie is het in kaart brengen van mogelijke technische, juridische, organisatorische en milieu/veiligheidsrisico's van de opslag van hoge temperatuur warmte in de ondergrond. Tijdens verschillende sessies tussen projectpartners en samen met externe stakeholders (o.a. lokaal en regionaal bevoegd gezag) zijn deze risico's geïdentificeerd en bediscussieerd.

- › De belangrijkste aandachtspunten voor een succesvolle business case zijn:
 1. De technische performance van het systeem dat op sommige aspecten (e.g. rendement en vermogen) lastig exact te voorspellen is door onvolledige informatie over de ondergrond;
 2. Onzekerheid in betrouwbaarheid van kritieke componenten (pompsysteem);
 3. Hoge onzekerheid in investeringskosten; en
 4. Optimale operationele strategie voor het inzetten van de HTO.

- › De belangrijkste kenmerken van het juridisch kader zijn in onderstaand schema weergegeven.

Diepte van opslag (beneden maaiveld)	<500 m	>500 m
Wet- en regelgeving van toepassing	• Waterwet • Waterbesluit (AMvB Wijzigingsbesluit bodemenergiesystemen) • Waterregeling • Besluitvormingsuitvoeringsmethode (BUM) provinciale taken en Hand-havingsuitvoeringsmethode (HUM) provinciale taken,	• Mijnbouwwet • Mijnbouwbesluit • Mijnbouwregeling
Belangrijkste restricties	• Infiltratietemperatuur max 25°C • Geen opwarming van de bodem • Behoudt energiebalans minimaal elke 5 jaar	geen beperkingen zoals voor ondiepe HTO
Bevoegd gezag	Provincie	Ministerie van Economische Zaken
Procedure doorlooptijd (indicatief)	~5 maanden	6-9 maanden
Vergunning	Watervergunning (artikel 6.4 Waterwet)	Opslagvergunning (art. 25 Mijnbouwwet)

- › De conclusie is dat HTO in principe mogelijk is binnen het bestaande juridisch kader, al is het op basis van uitzondering (onderzoeksproject). Lessen geleerd met de HTO pilots zullen kunnen worden gebruikt voor het verder ontwikkelen van vergunningseisen voor de hoge temperatuur opslag.

- › Aandachtspunten in de vergunning zullen hoogstwaarschijnlijk zijn:
 1. De hogere infiltratietemperatuur en mogelijk effecten op de bodem en grondwater (temperatuurstijging en chemie & microbiologie),
 2. De hoeveelheid opgeslagen warmte, het overschot en de mogelijke effecten hiervan,
 3. Het verwachte en gerealiseerde energierendement

- › AVR en TNO onderzoeken de haalbaarheid van een innovatieve, duurzame ondergrondse energieopslag voor AVR Duiven. Dit betreft een Hoge Temperatuur Opslag (HTO).
- › Kansen voor deze innovatie zijn de betere benutting van (rest)warmte, verhogen overall rendement van de installatie en het besparen van energie en CO2-emissies
- › Er zijn belangrijke uitdagingen zowel met betrekking tot integratie van de opslag en geschiktheid van de ondergrond
- › Business case lijkt kansen te bieden door het combineren van enkele verschillende (co)-benefits.
- › Aanbevolen vervolgstappen:
 - › Proefboring om meer informatie te krijgen over de plaatselijke ondergrond
 - › Gedetailleerde engineering studie



TNO
Joris Koornneef
Joris.koornneef@tno.nl



AVR
Hans Wassenaar
Hans.Wassenaar@avr.nl

Regeling	TKI Systeemintegratiestudies	
Referentie RVO	TESIS15020	
Project	Feasibility study of a High Temperature Aquifer Thermal Energy Storage at AVR Duiven	
Penvoerder / medeaanvragers	1 TNO (penvoerder) 2 AVR Afvalverwerking B.V	
Project periode	December 2015- augustus 2016	
Referentie TNO	TNO 2016 R11009	
Auteurs	J.M. Koornneef M.P.D. Pluymaekers D. Loeve T. Goldberg H. Wassenaar	TNO TNO TNO TNO AVR