

An aerial photograph of a residential area with orange-roofed houses, green fields, and a church. The image is used as a background for the slide.

WARMING^{UP}

Innovatief Duurzaam Warmtecollectief

Consortium meeting 6 maart 2023 Hoge Temperatuur Opslag

Thema 5 WINDOW

Warmtevoorziening In Nederland Duurzamer door
Ondergrondse Warmteopslag

Review Rotterdam & Binge-Watching Research Results

- ☐ Go
- ☐ No-go

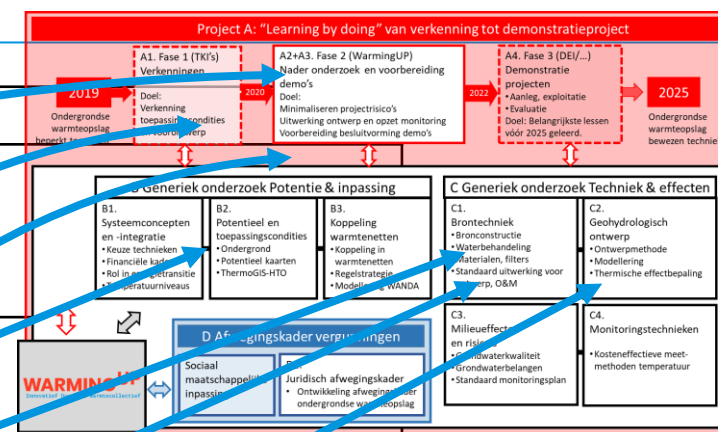


13.30	1. Welkom, terugblik & vooruitblik (Marette)
13.45	2. Pilot Rotterdam Nesselande: evaluatie en lessons learned • Evaluatie en lessons learned (Rob, Stijn, Daniel) • Korte terugblik besluitvorming pilot, en beeld over HTO (Lei)
14.40	3. Pitches lopend en uitgevoerd onderzoek • Pitch 1 ThermoGIS (Mariëlle) • Pitch 2 Kalkneerslag en waterbehandeling (Mariëlle) • Pitch 3 Toelaatbare snelheid op de boorgatwand HTO (Martin)
15.00	BREAK
15.15	4. Pitches lopend en uitgevoerd onderzoek (deel 2) • Pitch 4 Heat recovery efficiency (Stijn) • Pitch 5 Proefboring Leeuwarden (Frederik, Roel, Eelco) • Pitch 6 Voortgang in Delft (Rob, Martin, Eelco) • Pitch 7 Ervaringen bij HTO ECW (Peter)
15.50	5. Oogst van de middag, rondvraag, tips en opmerkingen
16.30	6. Sluiting

Agenda

WARMINGUP

13.30	1. Welkom, terugblik & vooruitblik (Marette)
13.45	2. Pilot Rotterdam Nesselande: evaluatie en lessons learned - Evaluatie en lessons learned (Rob, Stijn, Daniel) - Korte terugblik besluitvorming pilot, en beeld over HTO (Lei)
14.40	3. Pitches lopend en uitgevoerd onderzoek - Pitch 1 ThermoGIS (Mariëlle) - Pitch 2 Kalkneerslag en waterbehandeling (Mariëlle) - Pitch 3 Toelaatbare snelheid op de boorgatwand HTO (Martin)
15.00	BREAK
15.15	4. Pitches lopend en uitgevoerd onderzoek (deel 2) - Pitch 4 Heat recovery efficiency (Stijn) - Pitch 5 Proefboring Leeuwarden (Frederik, Roel, Eelco) - Pitch 6 Voortgang in Delft (Rob, Martin, Eelco) - Pitch 7 Ervaringen bij HTO ECW (Peter)
15.50	5. Oogst van de middag, rondvraag, tips en opmerkingen
16.30	6. Sluiting



M. Programma, organisatie en communicatie

Terugblik WINDOW 2022

WARMING^{UP}

2022	WINDOW pilots			WINDOW generiek
	Rotterdam	Leeuwarden	Delft	Onderzoek, kennisdelen en vervolg
januari	voorbereiding	besluit proefboring	ontwerp start	rapport 'meetprogramma pilotlocaties'
februari	proefboring	Shell trekker		Nieuwsbericht
maart	afwerking		onderzoeksboring GTD	
april			ontwerp inpassing	Groefonds NWN
mei	waterkwaliteit	Progr van Eisen	variantenstudie	rapport 'inpassing HTO Rotterdam'
juni	update ontwerp			consortium meeting
juli	update buca	aanbesteding		
augustus		besluitvorming		EU-subsidie PUSH-IT
september	variantenstudie	gunning		
oktober	besluitvorming		EBN design toolkit	
november	no-go Eneco	voorbereiding &		rapport 'clogging in HT storage wells'
december		vergunningen	concept select	MOOI-subsidie GOO

Werkzaamheden t/m september 2023:

- Proefboring Leeuwarden, tests, update ontwerp en buca
- Afronding pilot Rotterdam evaluatie
- Afronding pilot Delft concept-select
- Afronding werkpakketten generiek onderzoek
- Afronding 'Handreiking HTO'
- Afsluitende consortium meeting september 2023



Vandaag binge-watchen, straks binge-lezen van rapporten 😊

PhD-studie Stijn loopt door

	Project	Resultaat	Oplevering	
A2	Nader onderzoek	Proefboringen pilots	Meetprogramma PvE proefboring Rotterdam Resultaten boring Rotterdam PvE proefboring Leeuwarden Resultaten boring Leeuwarden	✓
A3	Vorbereiding demo's	Ontwerp uitwerking pilots	Evaluatie pilot Rotterdam Ontwerp-select Delft	
B1	Systeemconcepten en integratie	Koppeling CHESS-DoubletCalc3D HTO in toolkit thema 1 Simulaties pilot Rotterdam Evaluatie toepassing Toolkit HTO	Presentatie dec 2021 Rapportage Rapportage Rapportage	✓ ✓ ✓ ...
B2	Potentieel en toepassingscondities	ThermoGIS-HTO ThermoGIS – Brussels Zand	Rapportage / website Rapportage / website	... ✓
B3	Koppeling warmtenetten	Koppeling tools WANDA-SEAWAT, Simulaties pilot Rotterdam	Presentatie dec 2021 Rapportage Q2 2022	✓ ✓

	Project	Resultaat	Oplevering	
C1	Brontechniek	Kennis putverstopping HTO Kennis waterbehandeling	Rapportage 'Clogging HTO' Rapportage 'Labtests' Rapportage	✓
C2	Geohydrologisch ontwerp	Geohydrologisch bron ontwerp bij Rotterdam en Delft PhD-studie	Bijdrage ontwerp & evaluatie Artikelen in 2023, 2024	✓ ...
C3	Effecten	Monitoringsaanpak <i>Evaluatie effecten HTO (ECW)</i>	Input in project A2 Rapportage	✓ ...
C4	Monitoringstechnieken	Meetmethoden temperatuur-monitoring in de ondergrond	Presentatie Q2 2022 Rapportage	✓ ...
D	Juridisch afwegingskader	Voorlopig afwegingskader <i>Verbeterd afwegingskader</i>	Rapportage 2021 <i>Rapportage?</i>	✓ ...
Alg	WINDOW	<i>Handreiking HTO</i>	Rapportage 2023	...



HTO Nesselande

Evaluatie & Lessons learned

Consortium meeting 6 maart 2023



- Samenvatting project
- Lessons learned
- Way forward
- Vragen en discussie

Samenvatting



- Proefboring & boorgatmeting
- Gewijzigde inzetstrategie (dispatch)
- Simulaties geven lagere opslagrendementen (50% -> 34%)
- Doorrekenen verschillende varianten
 - Onderzoeken redenen lagere opslagrendement
 - Zoeken naar methodes om opslagrendement te verhogen
 - Effect op business case bepalen
 - Effect op duurzaamheid bepalen
- Evaluatie
 - Lessons learned
 - Way forward

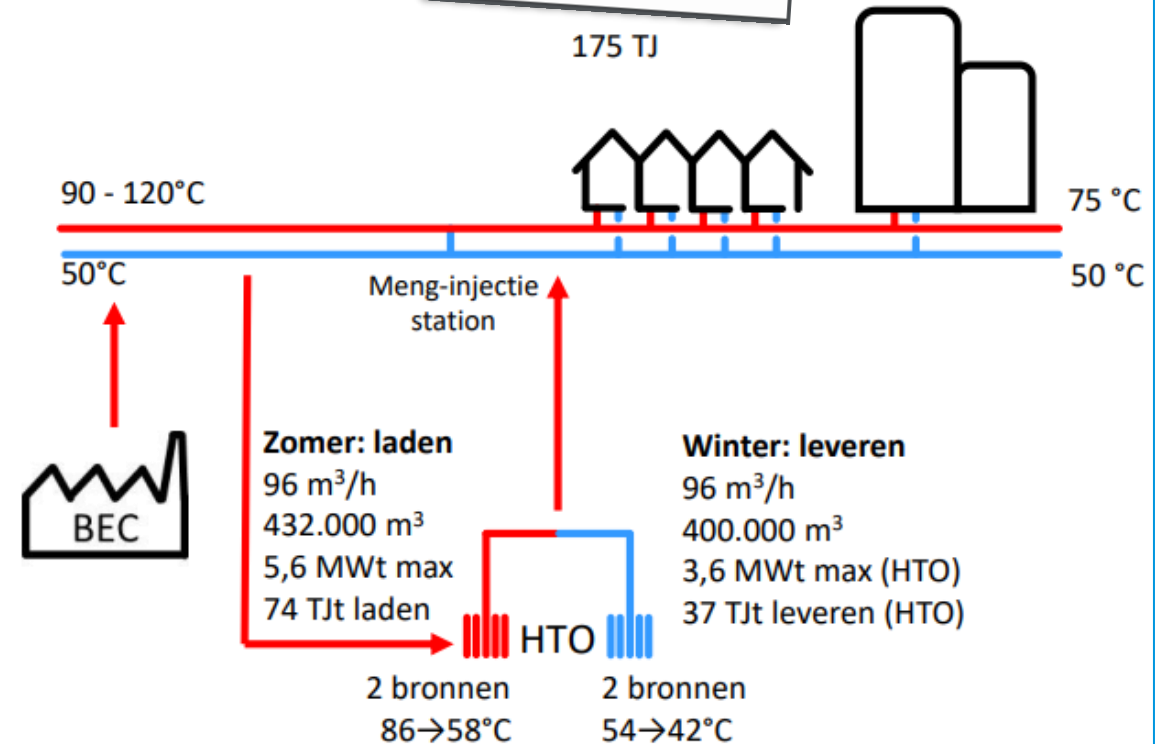
HTO in Rotterdam Nesselande – verkenning 2020

WARMING^{UP}



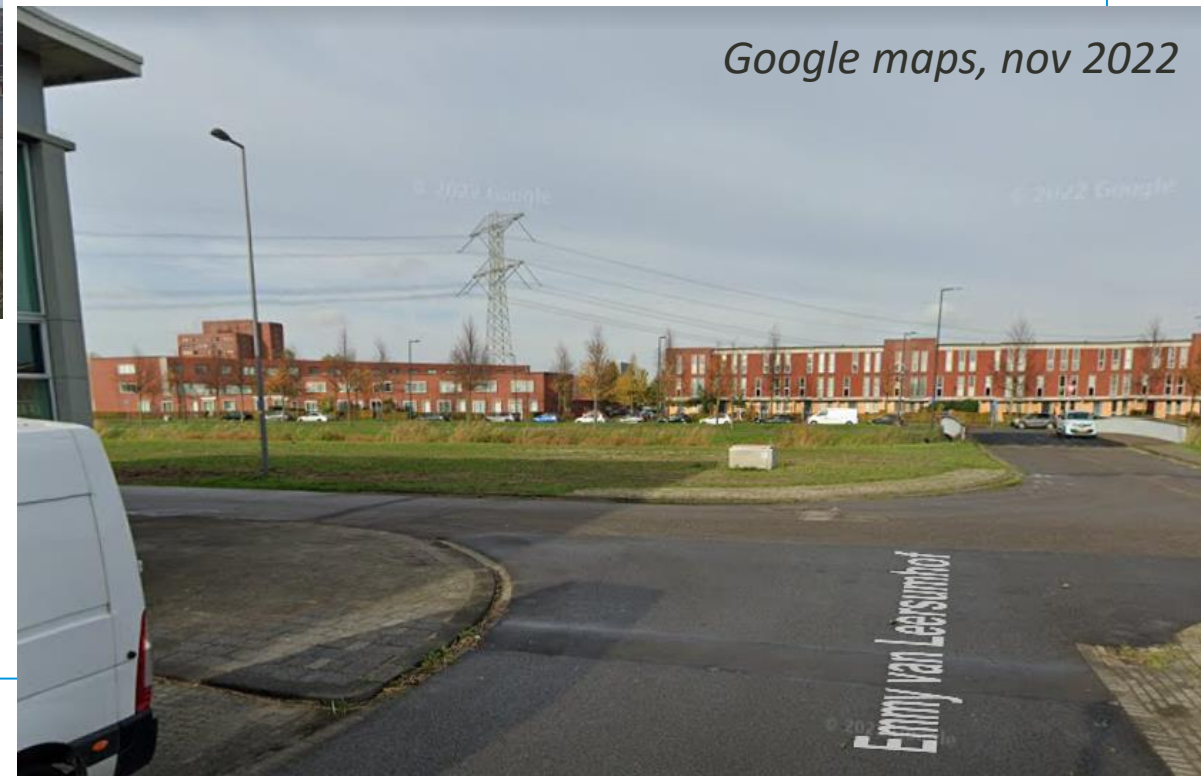
Best case: Variant 2

- Formatie: Maassluis
- Systeemrendement jaar 10: 50%
- Business case: 8,8 €/GJ
- Duurzaamheid: 8,9 kg CO₂/GJ
- Regelstrategie HTO: Basislast



Proefboring: Feb – April 2022

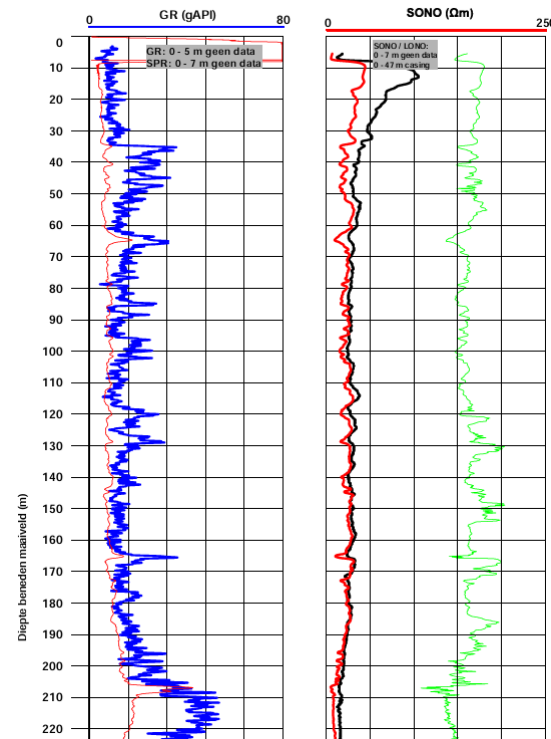
WARMING^{UP}



Proefboring

Bodemopbouw: Maassluis & Oosterhout

1. Geroerde monsters
2. Boorgatmetingen
3. Steekkernen
4. Pompproef

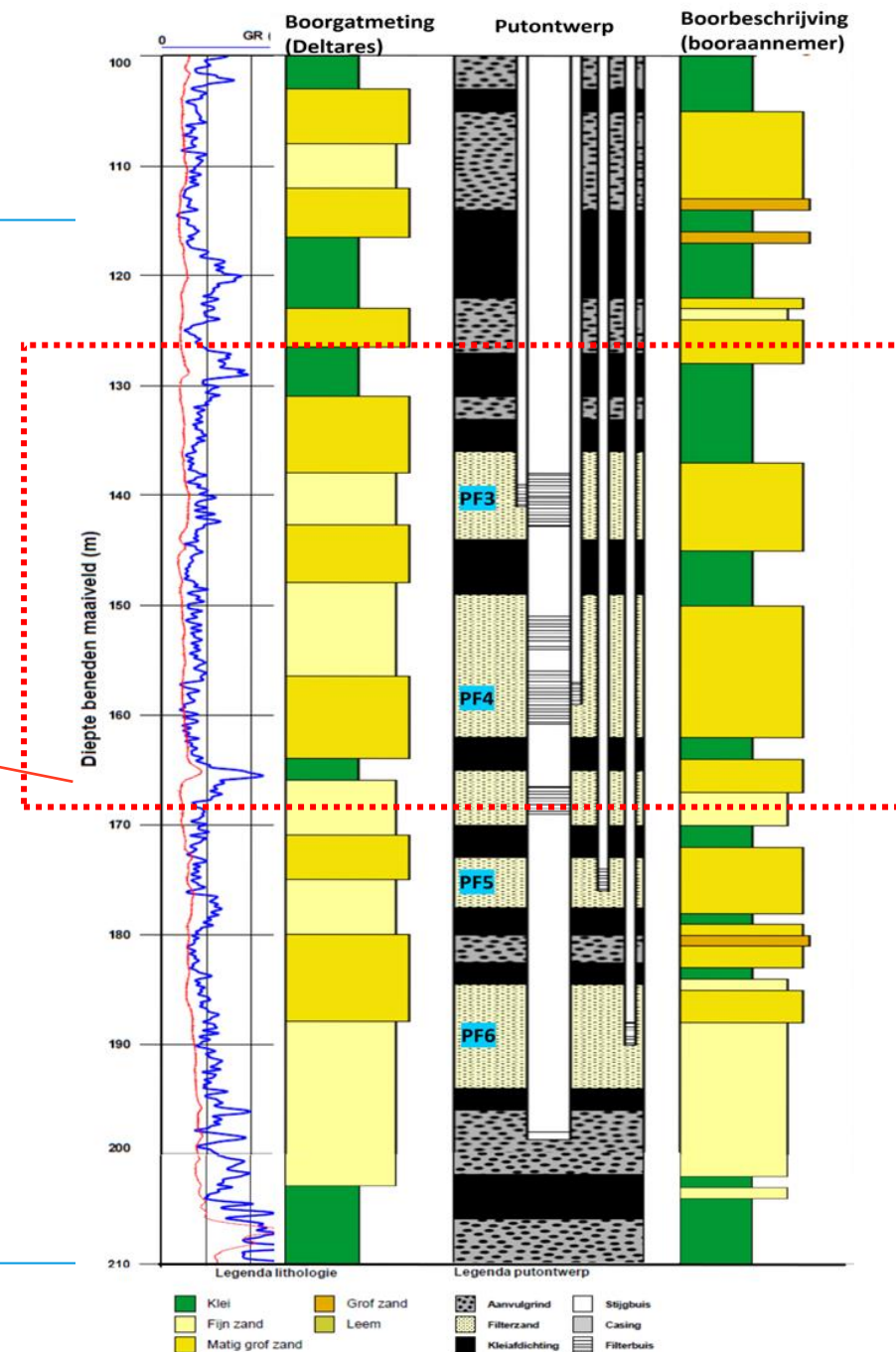


Bodemopbouw

Vershil boorgatmeting & boorbeschrijving

Kleilaag afsluitend?

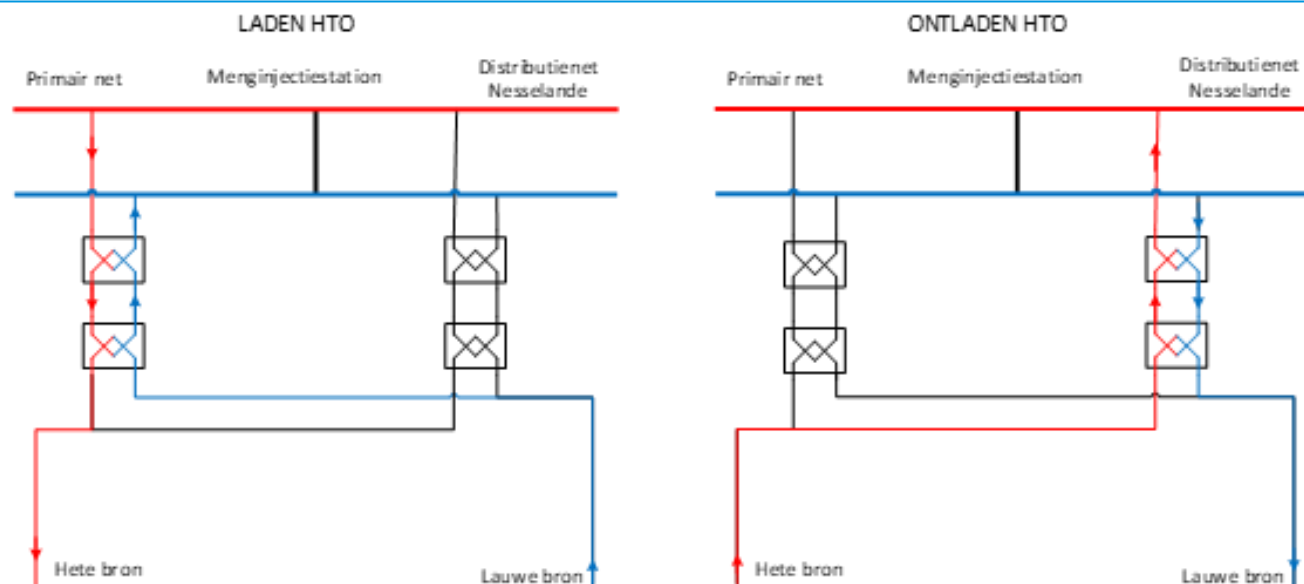
Lagen	Diepte (m-mv)	Kh (m/d)	Kv (m/d)	Type
1	117-131	0.005	0.001	Aquitard
2	131-164	12.7	6.35	Aquifer
3	164-166	0.005	0.001	Aquitard
4	166-173	6.3	6.3	Aquifer
5	173-178	6.3	1.575	
6	178-190	12.7	1.5875	
7	190-197	6.3	1.575	
8	197-215	0.005	0.001	Aquitard



Inpassing en aansturing HTO in warmtenet

WARMING^{UP}

- HTO laden
 - 150 m³/h
 - Vier maanden op vol vermogen
 - 1 juni t/m 30 september
- HTO leveren
 - Minimaal debiet
 - Technisch tenminste 20% deellast
 - Afhankelijk van variant kan dit hoger liggen om opgeslagen warmte ook weer te kunnen leveren
 - Max 200 m³/h
 - Vanaf 1 oktober tot en met (uiterlijk) 31 mei
 - Wegdrukken gasketel en andere fossiele bronnen

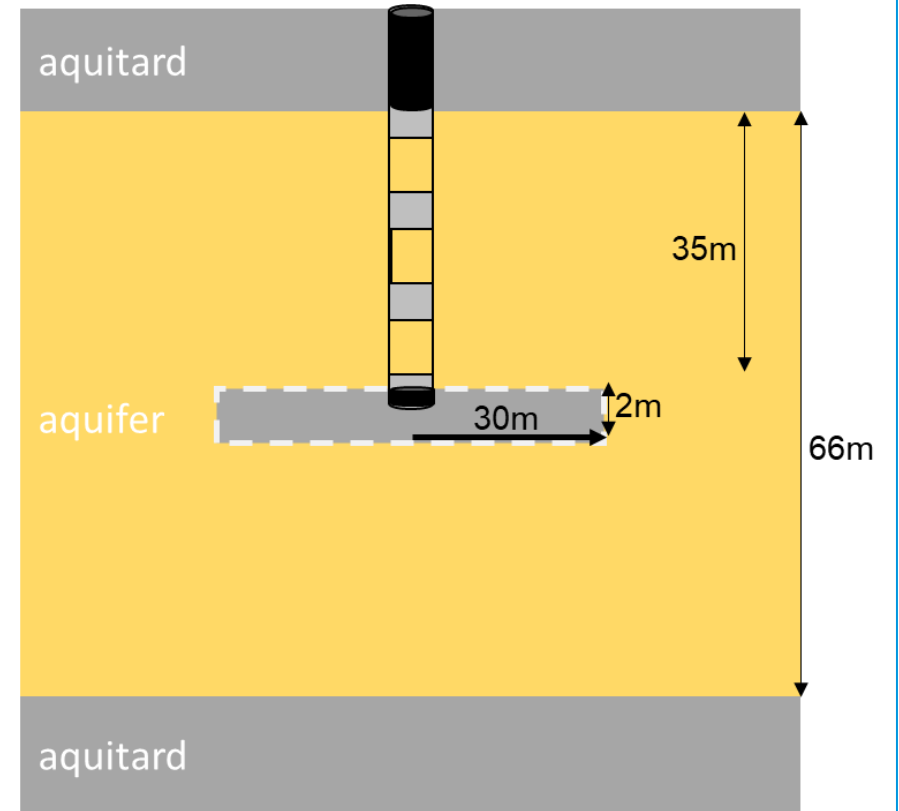
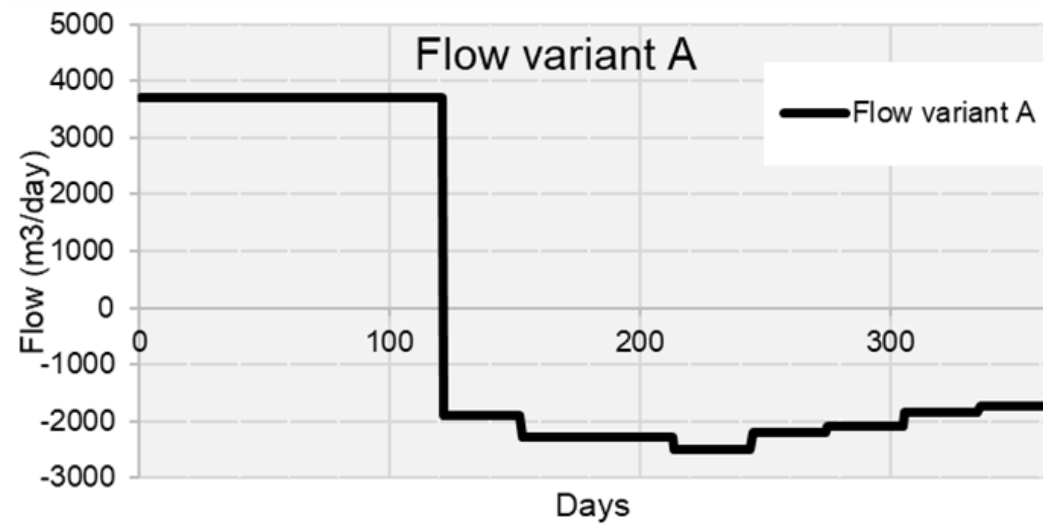


Basisvariant

WARMING^{UP}

$$T_{\text{hot}} = 86 \text{ \& } T_{\text{cut-off}} = 60$$

$$T_{\text{warm}} = 55$$



Varianten voor simulaties

WARMING^{UP}

B) Ondergrond

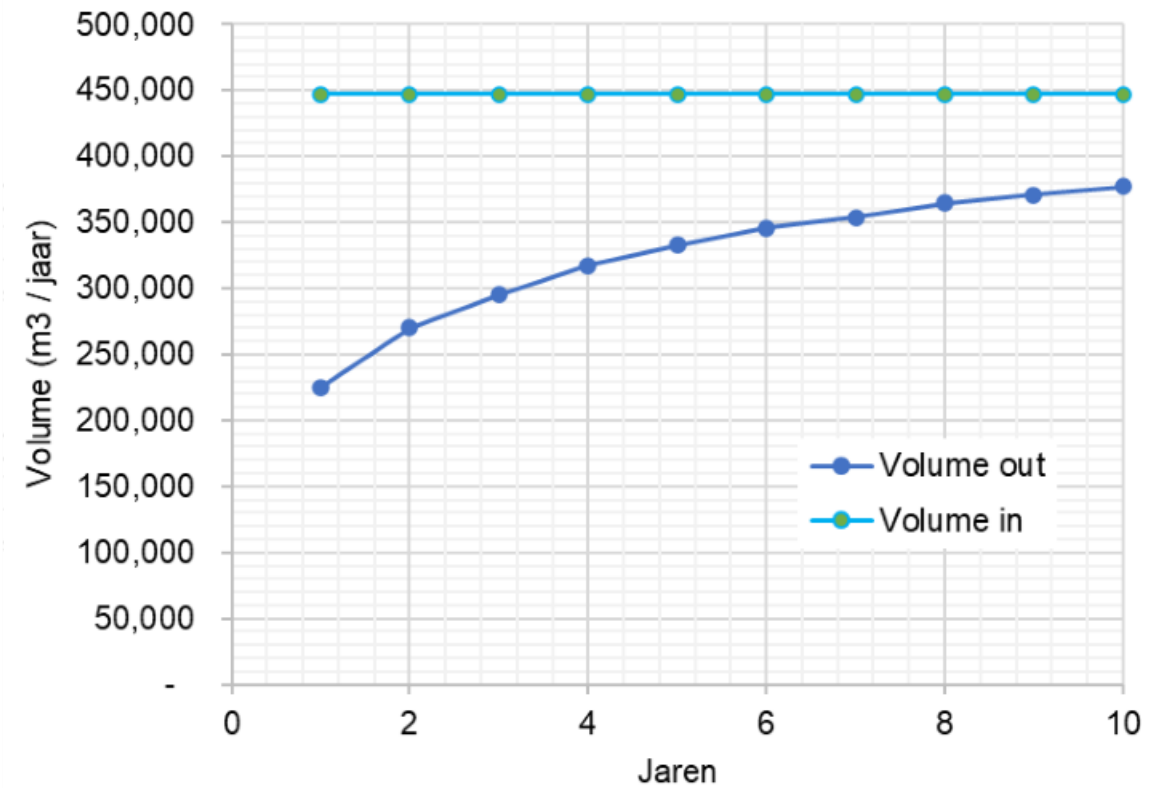
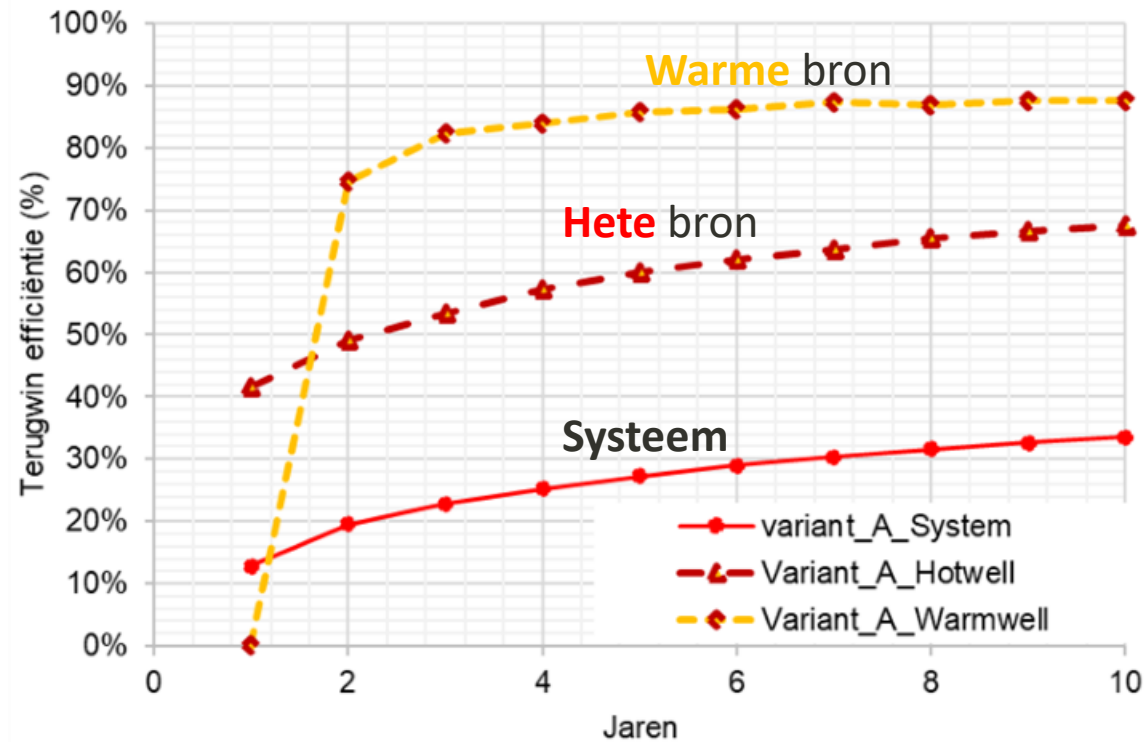
C) Opslagvolume

D) T_{warm} & $T_{\text{cut-off}}$ (ΔT)

E) Laad/ontlaadpatroon

Variant	Bodem	filterstelling	V_opslag	T_inf lauw	T_afkap	laden	m1-m4	m5	m6	m7	m8	m9	m10	m11	m12		
A	'huidig'	ondiep	450	55	60		154	79	95	95	104	92	87	77	72	Scenario's	
B1	Var 1 kleilaag (helemaal)	ondiep	450	55	60		154	79	95	95	104	92	87	77	72		
B2	Var 2 kleilaag (geen)	ondiep	450	55	60		154	79	95	95	104	92	87	77	72		
B3	Window fase 1	ondiep	450	55	60		154	79	95	95	104	92	87	77	72		
C1	'huidig'	ondiep	300	55	60		103	64	72	73	82	69	64	51	23		
C2	'huidig'	ondiep	600	55	60		205	117	122	122	128	121	117	112	110		
D1	'huidig'	ondiep	450	40	45		154	79	95	95	104	92	87	77	72		
D2	'huidig'	ondiep	450	30	35		154	79	95	95	104	92	87	77	72		
E1	'huidig'	ondiep	450	55	60		154	64	79	82	95	79	70	57	44		
E2	'huidig'	ondiep	450	55	60		154	Uurlijkse ingeschatte waarden									
E3	'huidig'	ondiep	450	55	60	Window fase 1	Window fase 1										
A2 - viscosity	'huidig'	ondiep	450	55	60		154	79	96	106	109	106	97	80	57	Extra	
F1	'huidig'	ondiep + diep	450	55	60		154	79	96	106	109	106	97	80	57		
F2 - viscosity	'huidig'	ondiep + diep	450	55	60		154	79	96	106	109	106	97	80	57		

Basisvariant

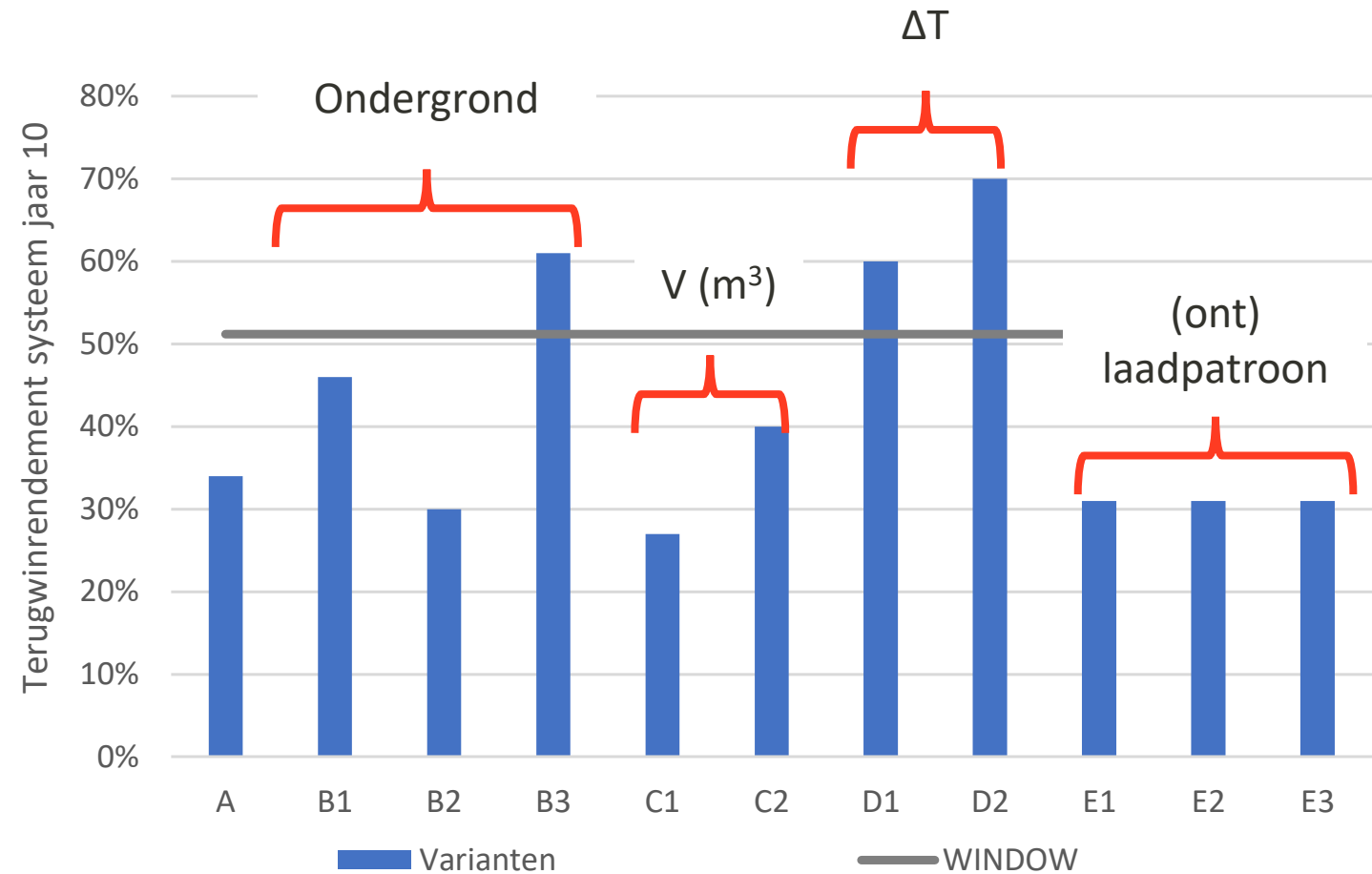


B) Ondergrond

C) Opslagvolume

D) T_{warm} & $T_{\text{cut-off}}$ (ΔT)

E) Laad/ontlaadpatroon

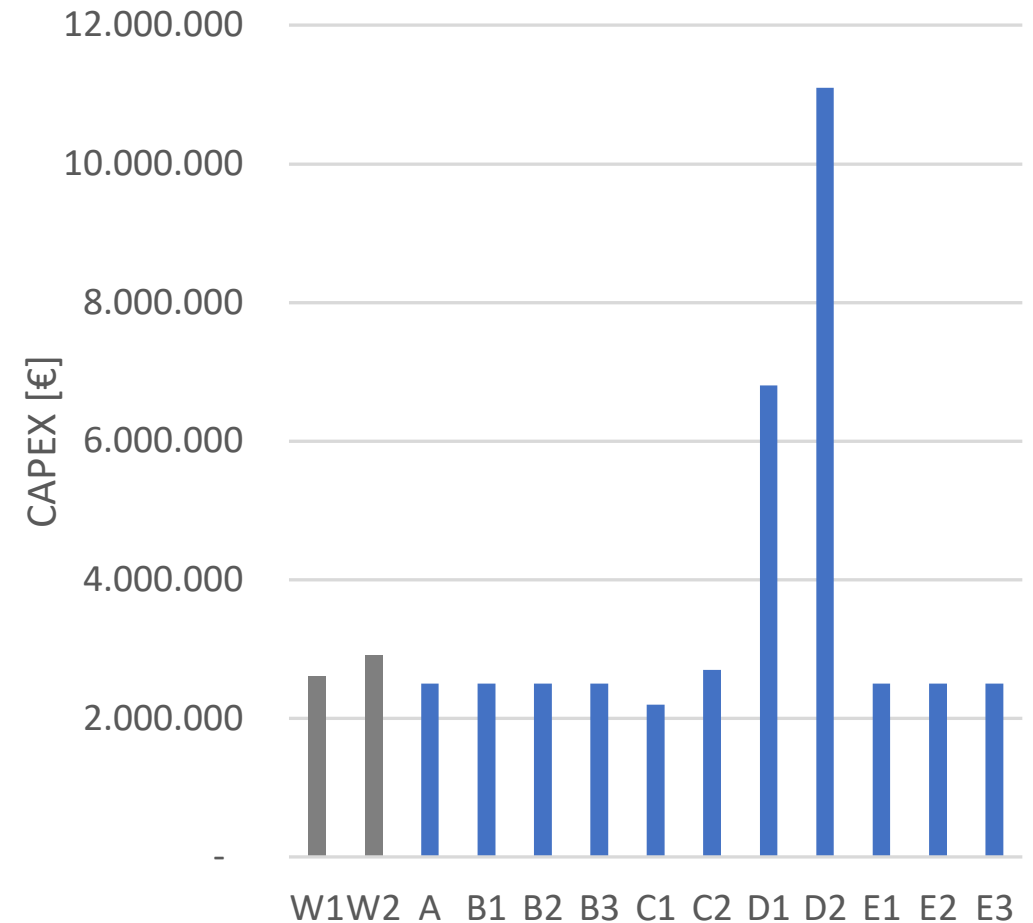


- Kentallen en uitgangspunten deels aangepast t.o.v. WINDOW
- Vergelijking met twee varianten WINDOW
 - W1: zoals uitgewerkt in WINDOW verkenning
 - W2: zelfde systeemgrootte, maar met aangepaste kengetallen en uitgangspunten

Resultaten business case & duurzaamheid (2)

WARMING^{UP}

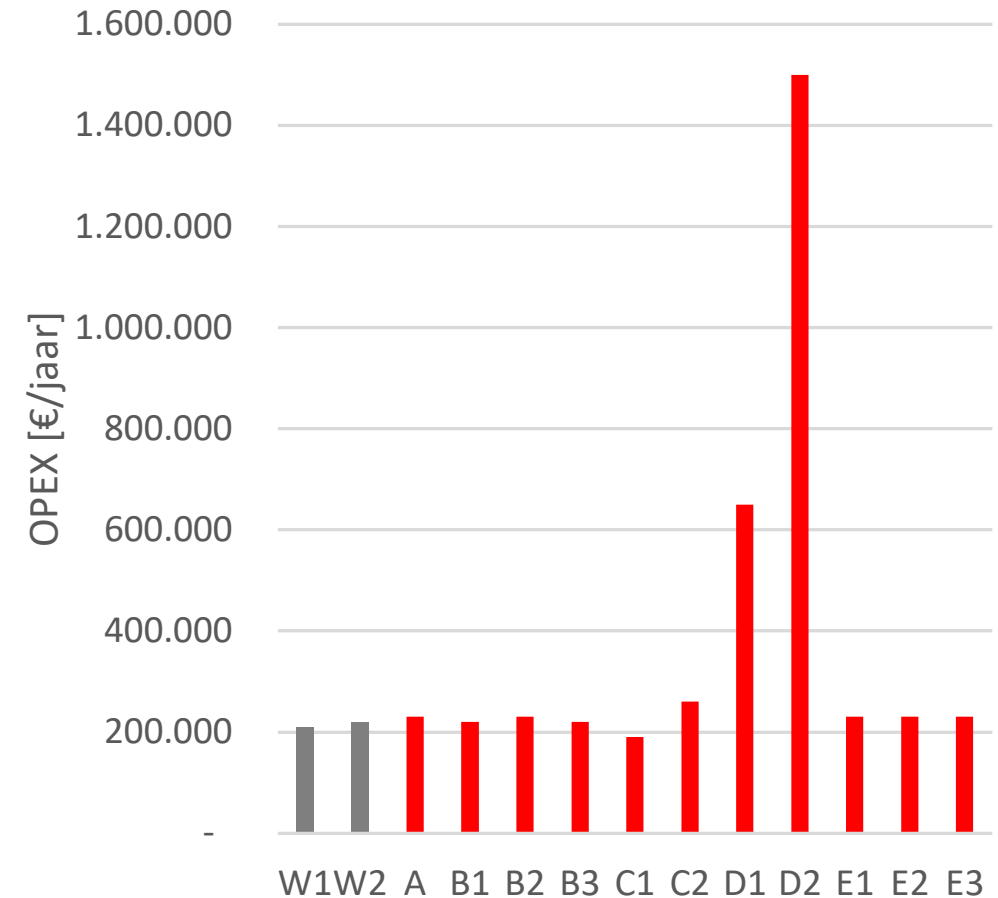
- CAPEX verkenning 2,9 M€ (W2)
- CAPEX Base case 2,5 M€
 - Lagere kosten ondanks hoger debiet
 - Door minder bronnen
- Warmtepomp (D1 & D2)
 - Fors duurder (6,8 – 11,1 M€)
 - Warmtepomp 50 - 60% van totale CAPEX
- Andere varianten vergelijkbaar



Resultaten business case & duurzaamheid (3)

WARMING^{UP}

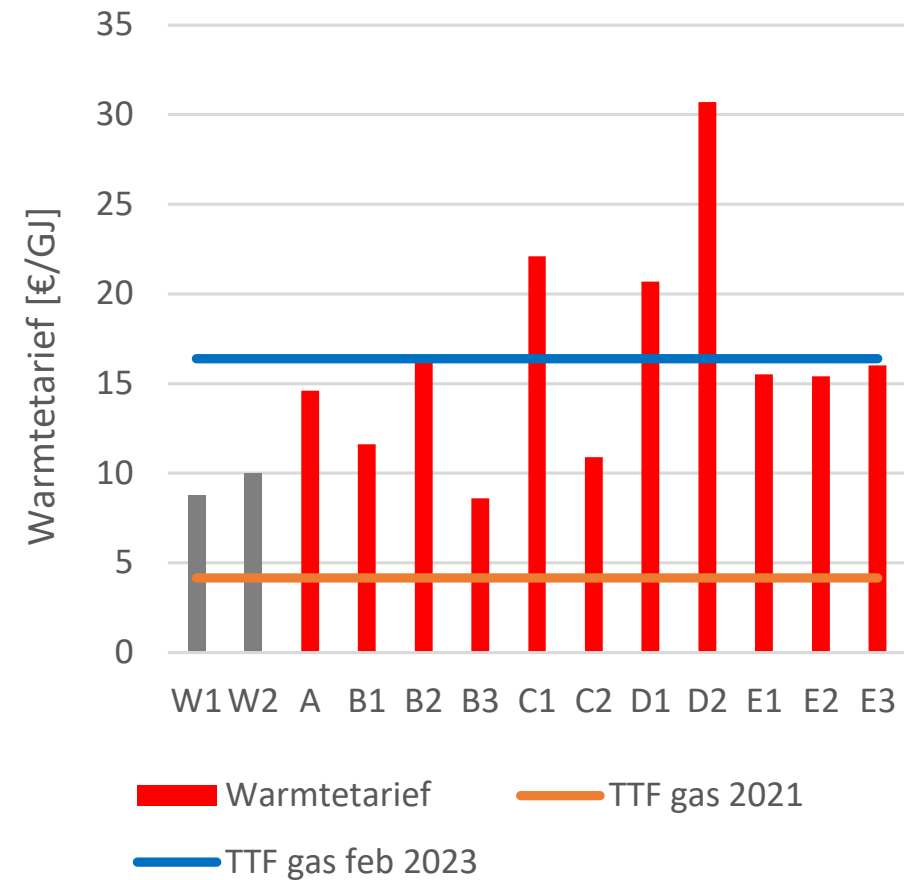
- OPEX verkenning 220 k€ / jaar (W2)
- OPEX Base case 230 k€ / jaar
 - Iets hoger door hoger elektriciteitsverbruik
- Warmtepomp (D1 & D2)
 - Fors duurder (650 – 1.500 k€) door elektriciteitsverbruik
- Andere varianten vergelijkbaar



Resultaten business case & duurzaamheid (4)

WARMING^{UP}

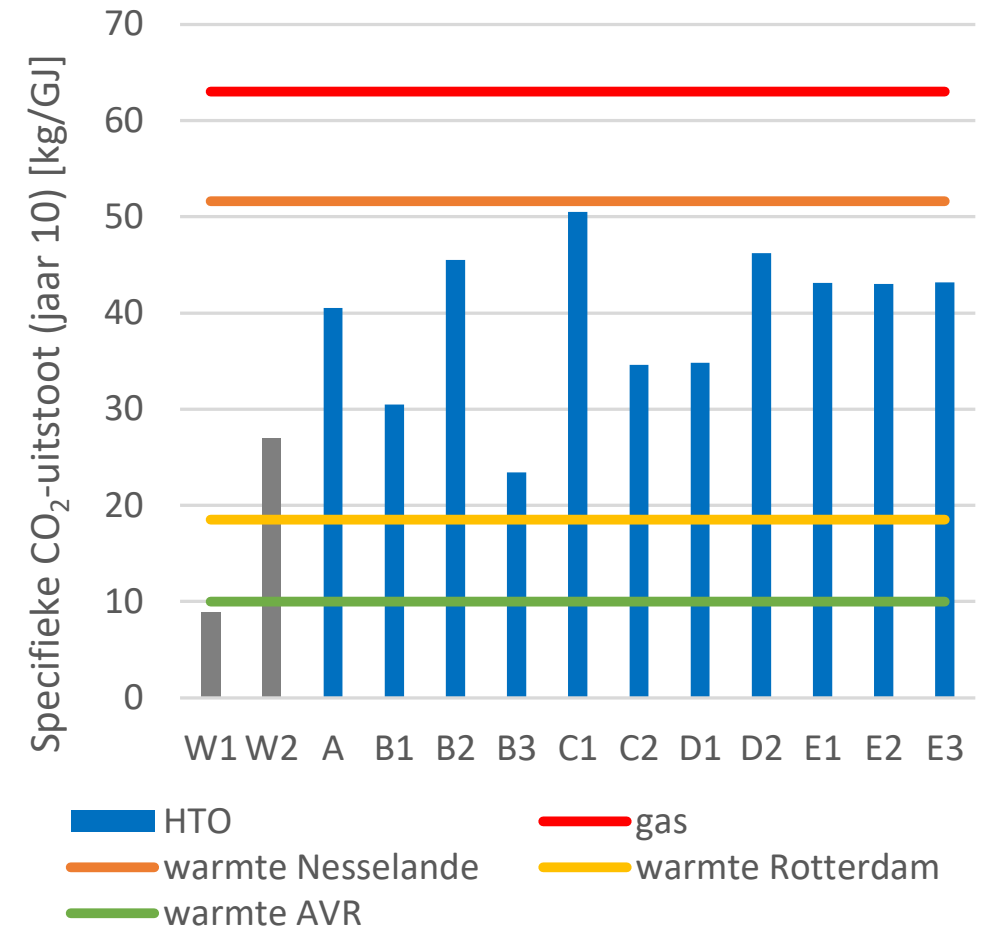
- Warmtetarief Verkenning 10,0 €/GJ (W2)
- Warmtetarief Base Case 14,6 €/GJ
 - Hoger door lager systeemrendement
- Sterke variantie in warmtetarief
- Beide warmtepompvarianten (D1 & D2) duurder dan base case
- Kan, onder juiste omstandigheden, concurreren met huidige gasprijzen
- Kan niet concurreren met “oude” gasprijzen



Resultaten business case & duurzaamheid (5)

WARMING^{UP}

- CO₂-uitstoot Verkenning 27 kg/GJ (W2)
- CO₂-uitstoot Base Case 41 k/GJ
 - Lager door lager systeemrendement
- Sterke variantie in CO₂-uitstoot
- Kan concurreren met gas
- Kan beperkt concurreren met warmte Nesselande
- Kan niet concurreren met warmte AVR en gemiddelde warmte Rotterdam



Lessons learned

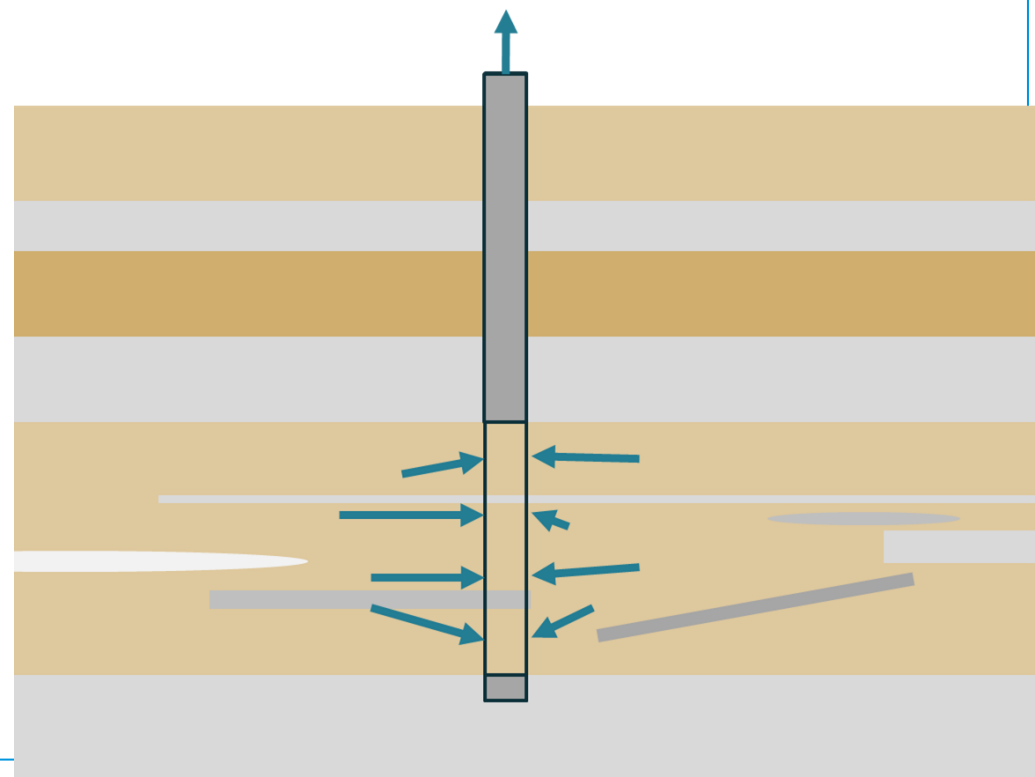


Een proefboring is belangrijk om de geschiktheid van de ondergrond te bepalen en verkleint daarmee de onzekerheid voor de potentie van HTO

- Verschil met verkenning (32 – 60%)

Onzekerheid:

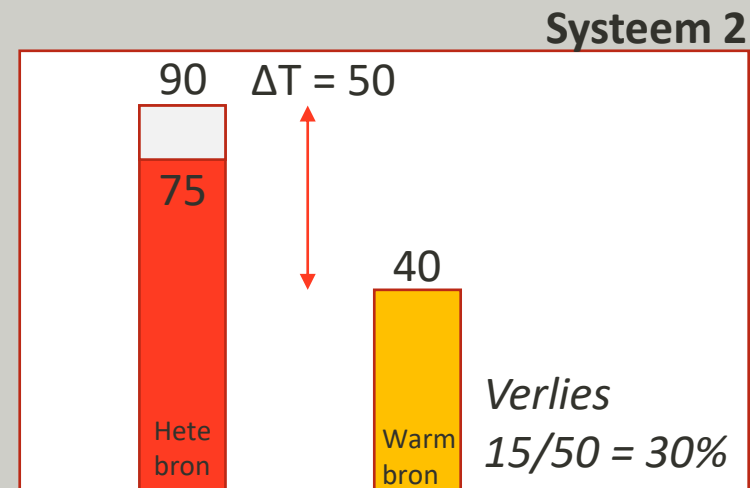
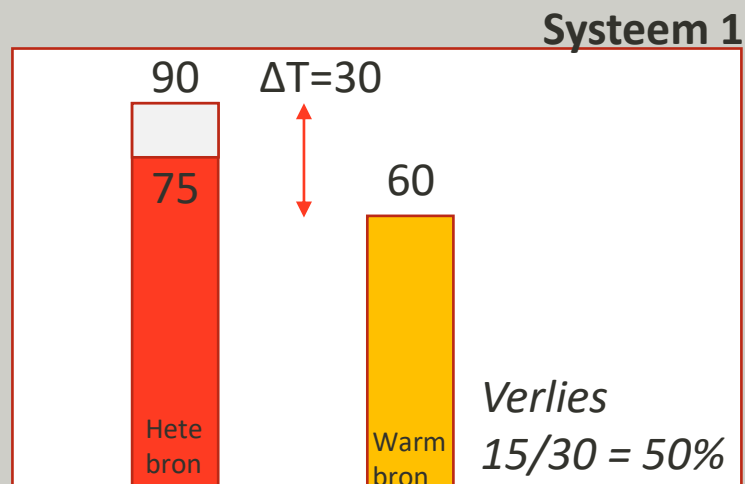
- Ruimtelijke verbreiding van lagen
- Eigenschappen van lagen



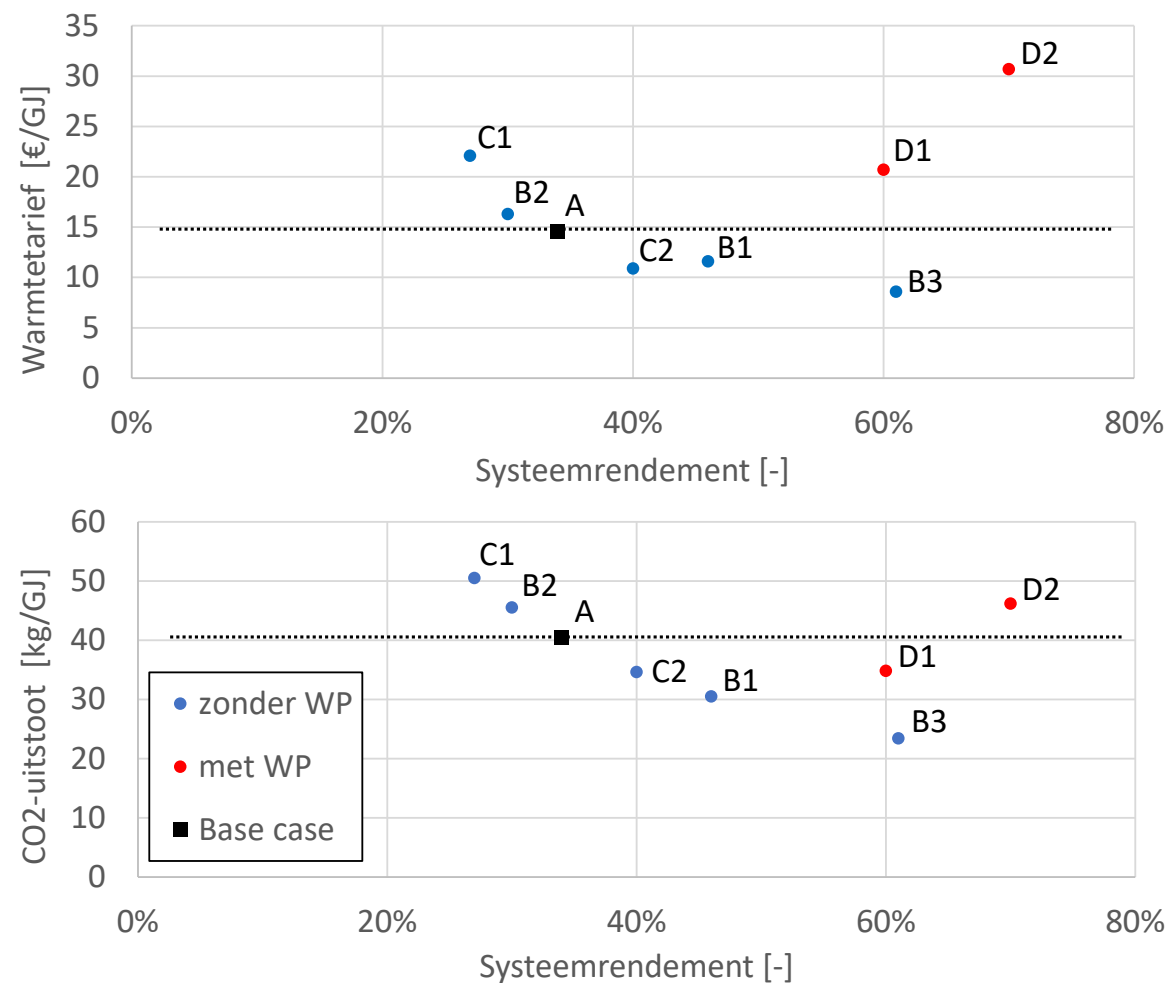
Bij relatief kleine ΔT ($^{\circ}\text{C}$) is het systeemrendement gevoelig voor opslagverliezen

→ Op voorhand de gevoeligheid analyseren

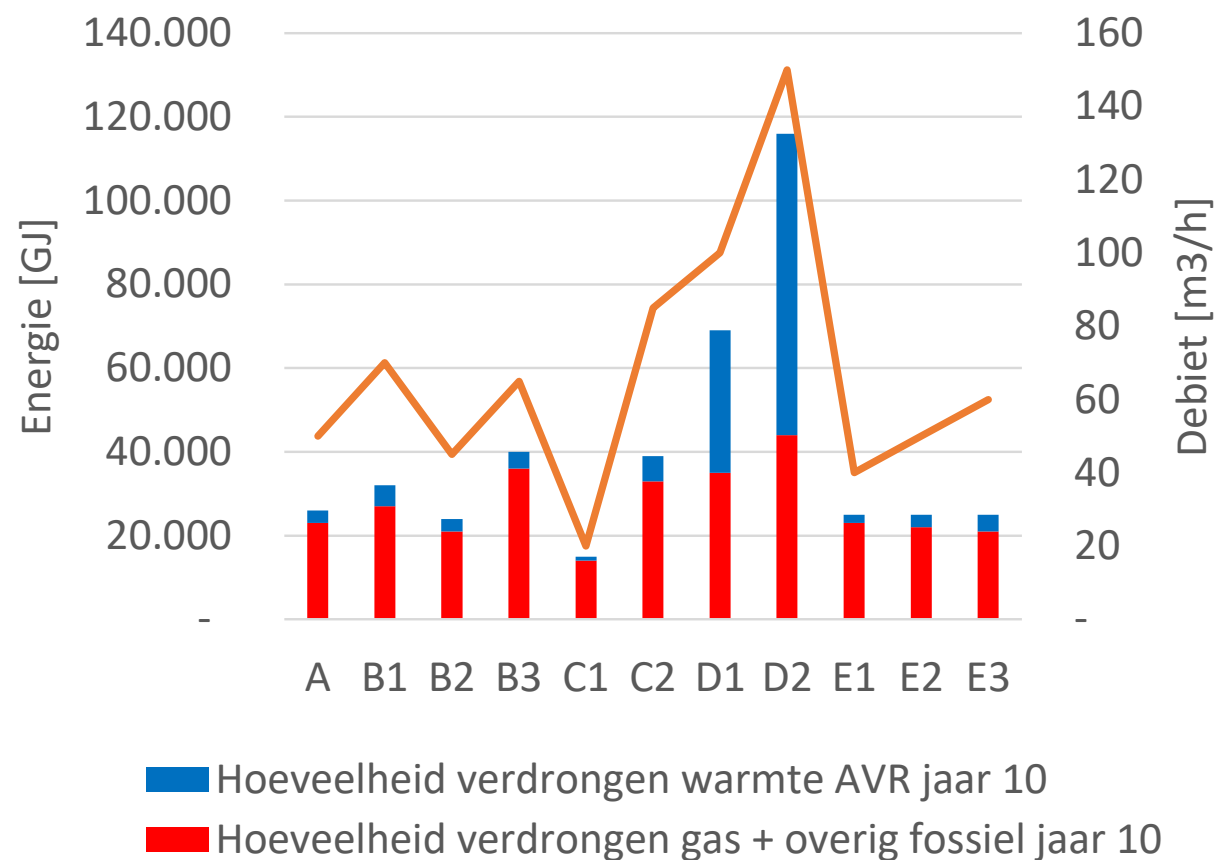
Voorbeeld



- Zonder warmtepomp
 - Dalende warmtetarief en CO₂-uitstoot met oplopend systeemrendement
- Met warmtepomp
 - Warmtetarief hoger -> opgeslagen warmte gratis
 - Beperkte inzet (D1): minder CO₂-uitstoot
 - Hogere inzet (D2): meer CO₂-uitstoot
 - -> Opgeslagen warmte 10 kg CO₂/GJ, hefboomeffect systeemrendement
- Verbeteren:
 - Lagere retourtemperatuur (D1 versus B3)
 - Grotere volumes (A versus C2)



- Geleverde warmte
 - Hoog bij hogere systeemrendementen
 - Hoog bij gebruik warmtepomp
 - Door hoger vermogen
- Minimaal debiet
 - Stijgt met bijdrage HTO warmtelevering
 - Drukt steeds meer basislast weg (AVR)



- Streef naar zo hoog mogelijk systeemrendement
 - Zo laag mogelijke retourtemperatuur
 - Zo hoog mogelijk opslagvolume
 - Toepassen warmtepomp
- Inzet warmtepomp
 - Beperk de omvang van de warmtepomp
 - Bij een beperkt systeemrendement van de HTO
 - Wanneer betaald moet worden of bij CO₂-uitstoot opgeslagen warmte
- Zet HTO met een laag rendement in op plekken waar warmte wordt vernietigd
- HTO bij voorkeur in basislast, maar middenlast kan ook
 - Voorkom dat HTO duurzame warmte weg drukt
 - Bij middenlast hogere ontwerpdebieten nodig om HTO leeg te trekken
- Functionele eisen integratie beïnvloeden haalbaarheid (bv dubbele WW)
- Lessons learned Eneco

Way forward



- Vervolgonderzoek
 - Bodem
 - Inpassing
 - Waardecreatie
- Kansen Eneco
 - Nesselande?
 - Ypenburg
 - Oostelijk Boszoom
- Inpassing
 - Aan hand van lessons learned, o.a. warmtepomp
 - Aan hand van eerdere studies
 - In rapportage

- Vragen en discussie



Bijlagen



Samenvatting varianten

WARMINGUP

Variant		A	B1	B2	B3	C1	C2	D1	D2	E1	E2	E3
Omschrijving		Base Case	Volledige kleilaag	Geen kleilaag	Window fase 1 bodem	Volume 300k	Volume 600k	Tinf 40	Tinf 30	Deellast 40 m3ph	Dagprofiel	Window (ont)laadprofiel
Debiet HTO laden	m3/h	153	153	153	153	102	203	153	153	153	154	154
Maximaal debiet HTO leveren	m3/h	150	150	150	150	100	200	150	150	150	150	150
Minimaal debiet HTO leveren	m3/h	50	70	45	65	20	85	100	150	40	50	60
Volume - laden - jaar 10	m3	447.000	447.000	447.000	447.000	299.000	595.000	447.000	447.000	447.000	450.000	450.000
Volume - leveren - jaar 10	m3	377.000	450.000	354.000	472.000	226.000	539.000	557.000	449.000	343.000	363.000	391.000
Opgeslagen warmte HTO jaar 10	GJ	78.000	69.000	81.000	65.000	56.000	99.000	89.000	106.000	80.000	80.000	77.000
Geleverde warmte HTO jaar 10	GJ	26.000	32.000	24.000	40.000	15.000	39.000	55.000	69.000	25.000	25.000	24.000
Geleverde warmte HTO (+WP) jaar 10	GJ	26.000	32.000	24.000	40.000	15.000	39.000	69.000	116.000	25.000	25.000	24.000
Elektriciteitsverbruik jaar 10	MWhe	1.400	1.300	1.400	1.300	900	1.800	5.600	15.400	1.400	1.400	1.300
Elektriciteitsverbruik jaar 10	Gje	4.900	4.600	5.000	4.700	3.400	6.400	20.300	55.300	4.900	5.000	4.800
Opslagrendement jaar 10		34%	46%	30%	61%	27%	40%	60%	70%	31%	31%	31%
Opslagtemperatuur hete bron	°C	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86
Opslagtemperatuur lauwe bron	°C	55	55	55	55	55	55	40	30	55	55	55
Afkaptemperatuur	°C	60	60	60	60	60	60	45	35	60	60	60
CAPEX	€	2.500.000	2.500.000	2.500.000	2.500.000	2.200.000	2.700.000	6.800.000	11.100.000	2.500.000	2.500.000	2.500.000
OPEX	€/jaar	230.000	220.000	230.000	220.000	190.000	260.000	650.000	1.500.000	230.000	230.000	230.000
GJ tarief	€/GJ	14,0	11,1	15,6	8,3	21,3	10,4	20,3	30,5	14,8	14,7	15,3
Specifieke CO2-uitstoot	kg CO2/GJ	17,4	13,7	19,5	10,8	21,3	15,1	27,5	44,9	18,4	18,4	18,4
CO2-reductie t.o.v. gas		72%	78%	69%	83%	66%	76%	56%	28%	70%	70%	70%
CO2-reductie t.o.v. gas	ton CO2	36.000	48.000	31.000	65.000	19.000	57.000	74.000	61.000	34.000	34.000	33.000

* Bij varianten D warmte geleverd door HTO + WP

Samenvatting varianten

WARMINGUP

Variant		A	B1	B2	B3	C1	C2	D1	D2	E1	E2	E3
Omschrijving		Base Case	Volledige kleilaag	Geen kleilaag	Window fase 1 bodem	Volume 300k	Volume 600k	Tinf 40	Tinf 30	Deellast 40 m3ph	Dagprofiel	Window (ont)laadprofiel
CAPEX												
Proefboring	[€]	181.000	181.000	181.000	181.000	181.000	181.000	181.000	181.000	181.000	181.000	181.000
Bronnen	[€]	678.000	678.000	678.000	678.000	638.000	716.000	678.000	678.000	678.000	679.000	679.000
Leidingwerk + TR	[€]	954.000	954.000	954.000	954.000	803.000	1.085.000	954.000	954.000	954.000	957.000	957.000
Warmtepomp	[€]	-	-	-	-	-	-	3.450.000	6.900.000	-	-	-
Onvoorzien	[€]	198.000	198.000	198.000	198.000	173.000	220.000	543.000	888.000	198.000	198.000	198.000
Ontwerp/advies vergunningen	[€]	296.000	296.000	296.000	296.000	259.000	330.000	814.000	1.331.000	296.000	297.000	297.000
Totaal	[€]	2.300.000	2.300.000	2.300.000	2.300.000	2.100.000	2.500.000	6.600.000	10.900.000	2.300.000	2.300.000	2.300.000
OPEX												
Opslag warmte	[€/jaar]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Elektriciteit	[€/jaar]	70.000	69.000	70.000	72.000	48.000	92.000	423.000	1.198.000	71.000	71.000	70.000
Onderhoud en beheer	[€/jaar]	106.000	106.000	106.000	106.000	93.000	118.000	175.000	244.000	106.000	106.000	106.000
Waterbehandeling	[€/jaar]	20.000	17.000	20.000	16.000	14.000	24.000	22.000	27.000	20.000	20.000	20.000
Monitoring	[€/jaar]	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000
Totaal	[€/jaar]	230.000	220.000	230.000	220.000	190.000	260.000	650.000	1.500.000	230.000	230.000	230.000

Deelnemers



Gemeente Almere



UNIE VAN
WATERSCHAPPEN

TNO

Deltares

TU Delft



Den Haag



stowa

Rijkswaterstaat

KWR



Universiteit Utrecht

TU/e

SAXION

× Gemeente
× Amsterdam
×

Gemeente Rotterdam

VATTENFALL



Gemeente Breda



provincie
ZUID HOLLAND



bodem
energie.nl



ennatuurlijk



Eneco

enpuls

Firan



HOLLAND
RIJNLAND
WAAR DE RANDSTAD TOT BLOEI KOMT

UITVOERINGSPROGRAMMA

BODEM & ONDERGROND

NET
VERDER

capturam

Huisman

ENGIE



GREENVIS
ENERGY SOLUTIONS

THE GREEN
VILLAGE

efteling

aanbod

vraag

38 deelnemers + 16 partners



Gemeente Almere



Den Haag



Gemeente Utrecht



Gemeente Rotterdam



provincie HOLLAND ZUID

provincie limburg



UNIE VAN
WATERSCHAPPEN



Deltares



Universiteit Utrecht



Gemeente Amsterdam



Gemeente Breda



Visser & Smit Hanab
brengt energie



HOLLAND RIJNLAND
WAAR DE RANDSTAD TOT BLOEI KOMT



THE GREEN VILLAGE



Rijkswaterstaat



techniplan adviseurs b
RAADGEVEND INGENIEURSBUREAU



Netwerk
Aqua
Thermie



enpuls



Tauw



rotterdam
engineering



thermaflex®



Feenstra



CE Delft



Visser & Smit Hanab
brengt energie



HOLLAND RIJNLAND
WAAR DE RANDSTAD TOT BLOEI KOMT



THE GREEN VILLAGE

UITVOERINGSPROGRAMMA

BODEM & ONDERGROND



Platform
Geothermie



WARMINGUP

Innovatief Duurzaam Warmtecollectief

WarmingUp.info
contact@warmingup.info





WARMING^{UP}
Innovatief Duurzaam Warmtecollectief

ThermoGIS-HTO

Mariëlle Koenen, Dorien Dinkelman & Mark
Vrijlandt (TNO)

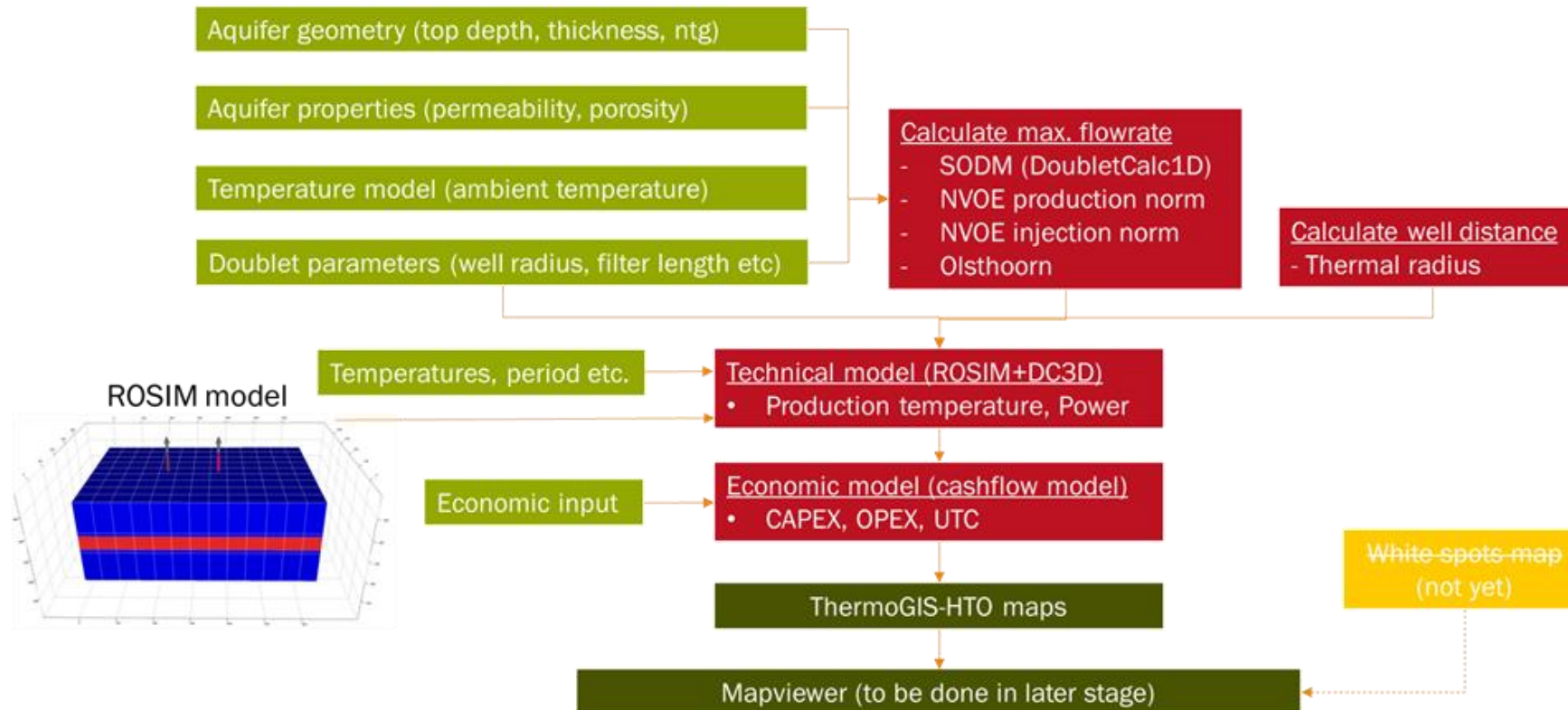
6 maart 2023

Wat is ThermoGIS-HTO?

WARMING^{UP}

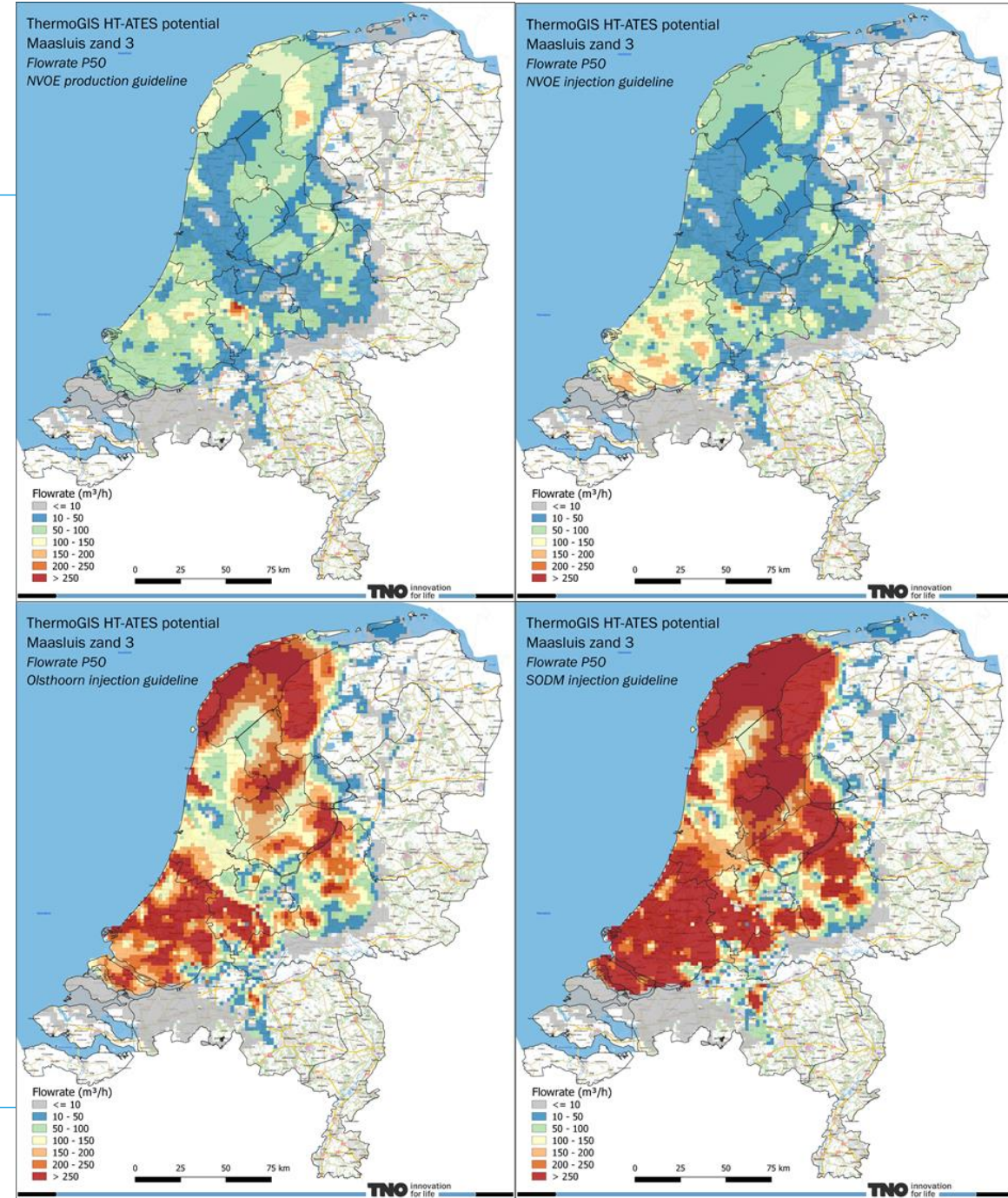
Rekentool voor genereren van **HTO potentieelkaarten** voor regionale screeningsdoeleinden (100x100m gridcellen)

ThermoGIS geothermie workflow aangepast voor HTO



Onzekerheden, sensitiviteiten & scenario's

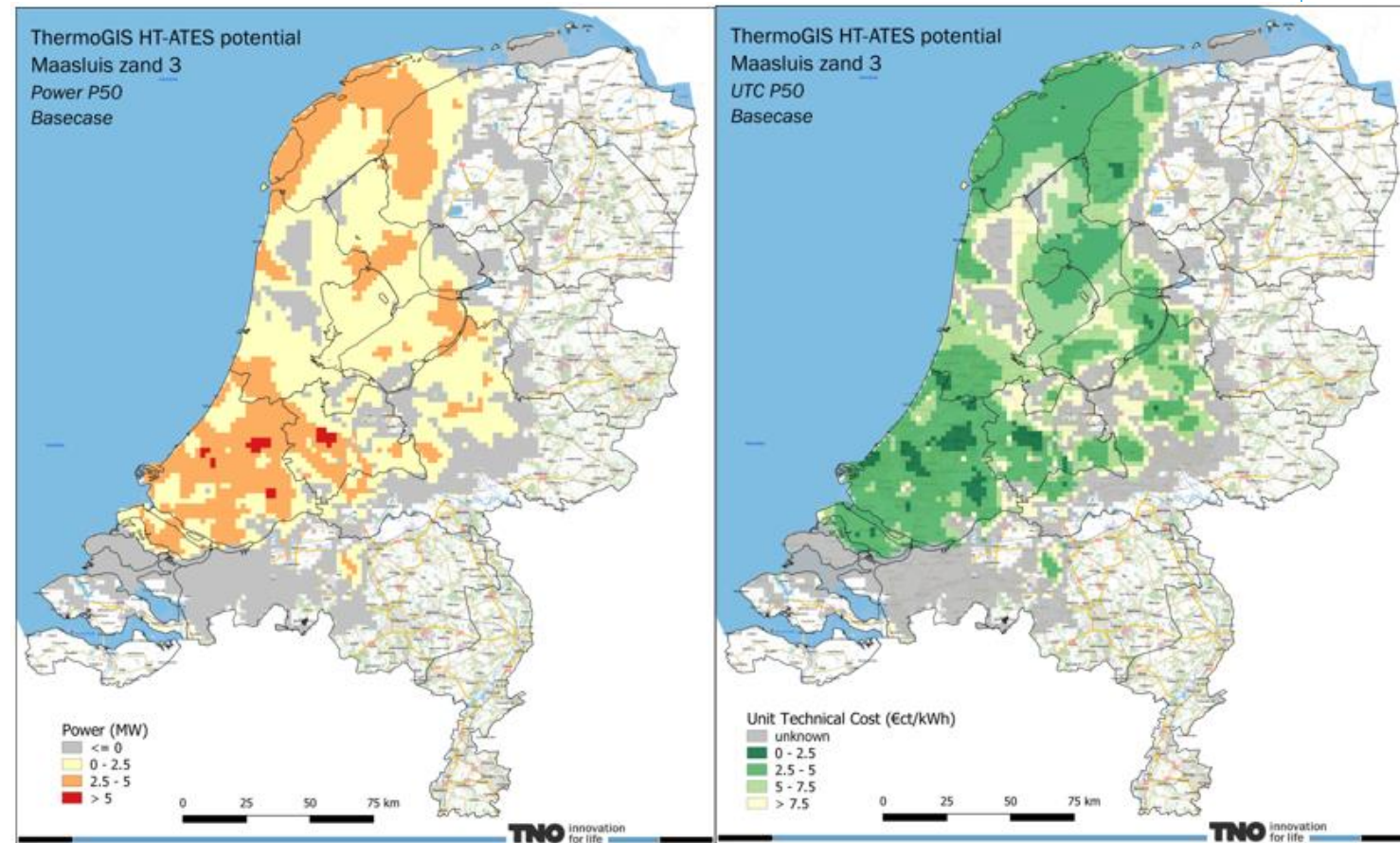
- Vergeleken met geothermie hebben HTO systemen veel meer parameters
 - Maximale debiet
 - Putafstand
 - Warmtenet specificaties
 - Opslag T
 - Retour T
 - Afkap T
 - Opslag en productie (en eventueel rust) periodes
 - Warmtepomp: ja/nee



Voorbeeld base case potentie kaarten Maassluis 3^e aquifer

WARMING^{UP}

- Op basis van
 - REGIS II v2.2
 - Conservatieve max. debieten
 - Doublet (2 putten)
 - Aanname goede seals
 - Default warmtenet specs
- Optimalisatie van HTO inzet mogelijk voor projecten



Meer weten? Zie ThermoGIS-HTO pagina

WARMING^{UP}

www.thermogis.nl/hoge-temperatuuropslag-hto

- Vooralsnog als ‘nieuwe ontwikkeling’
- Bevat binnenkort ook link naar uitgebreid rapport
- Officiële ThermoGIS-HTO is een ambitie voor de toekomst!
- Ideeën en samenwerkingsmogelijkheden voor uitbreiding/verbetering welkom!





Kalkneerslag & waterbehandeling

Mariëlle Koenen (TNO)

6 maart 2023



Wat is het probleem?

WARMING^{UP}

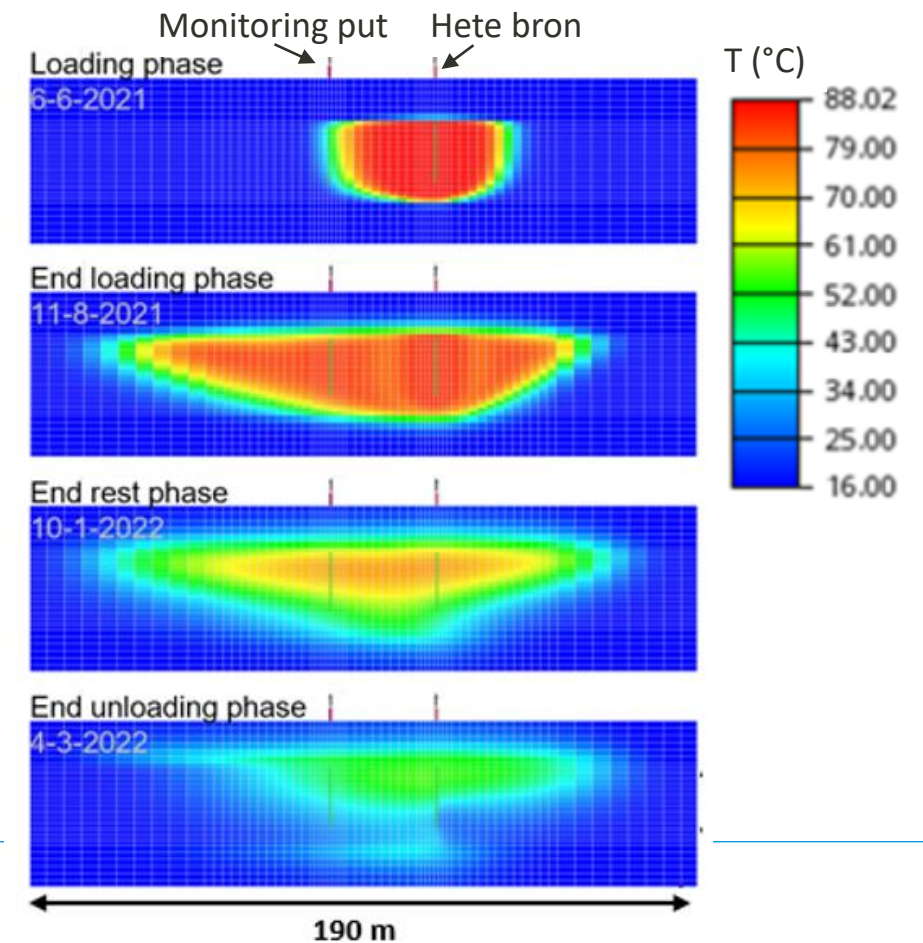
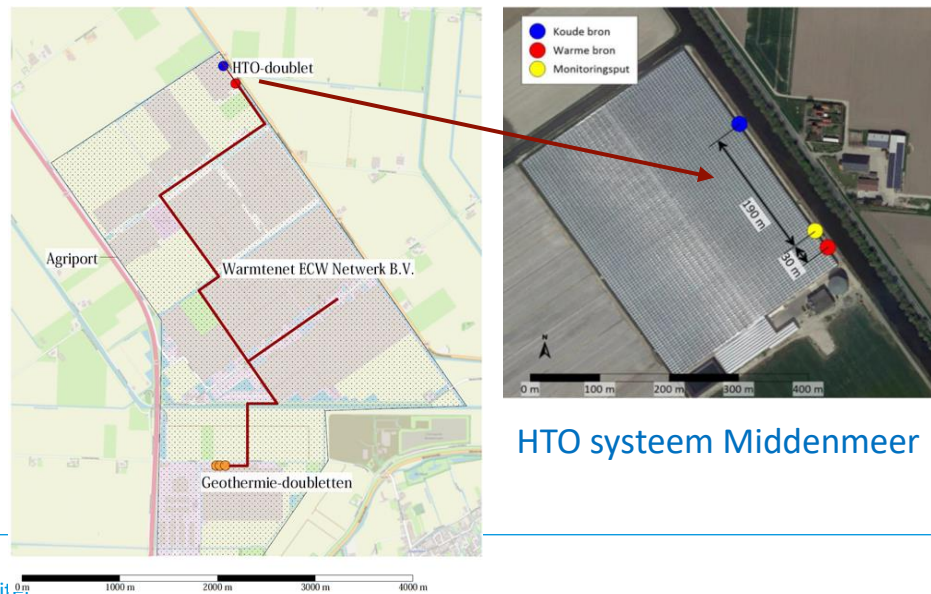
Grondwater is meestal (over)verzadigd met kalk, opwarming kan kalkneerslag veroorzaken

Bij de HTO in Middenmeer (systeem van ECW) is CO₂ toegevoegd aan het water om kalkneerslag te voorkomen

Deze behandeling wordt geevalueerd door middel van

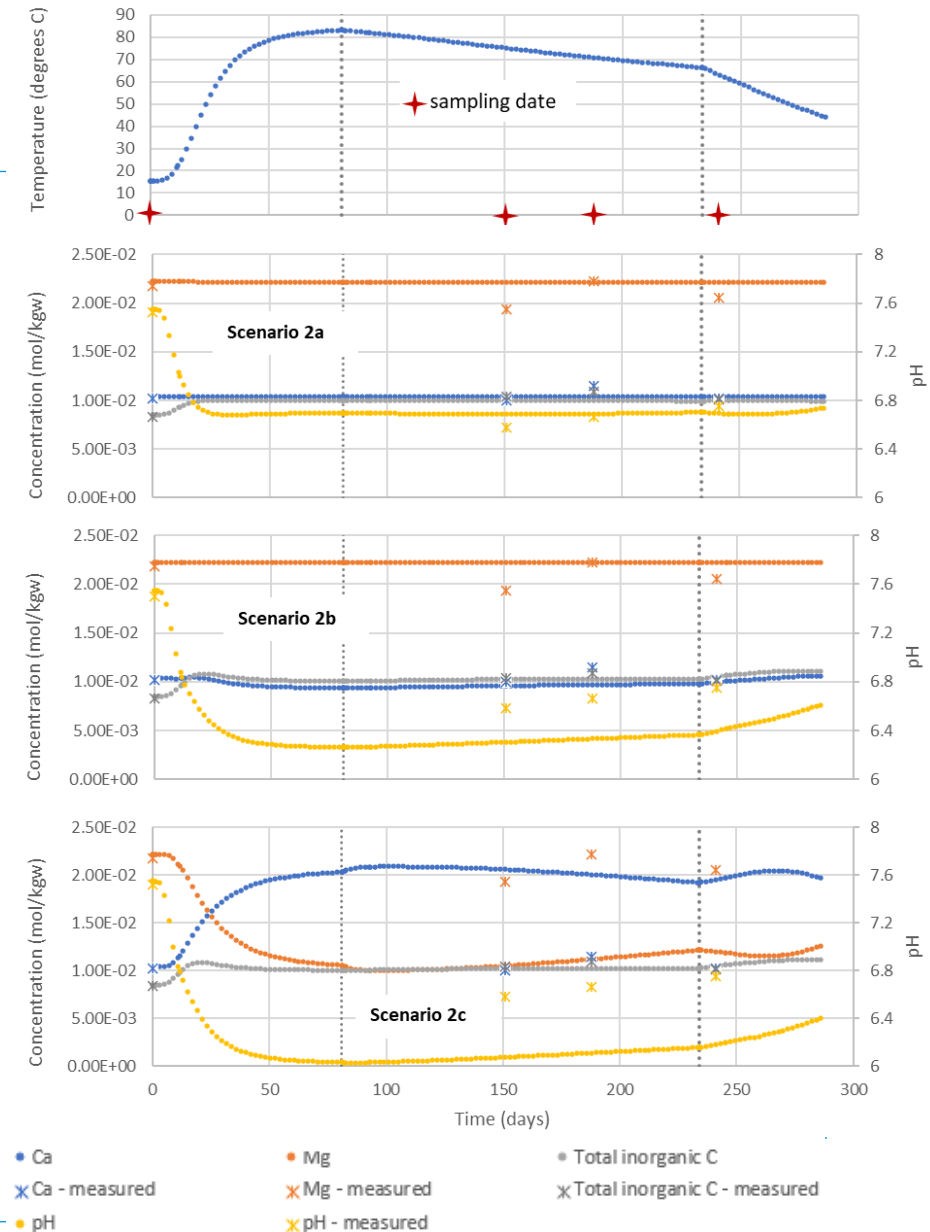
Reactief transport modellering en geochemische monitoring

In WarmingUP is de eerste opslag cyclus geevalueerd



Aanpak

- Reactief transport modellering van ruimtelijke effecten
 - Temperatuurontwikkeling
 - CO₂ bijmenging
 - Potentiele kalkreacties
- Modelscenario's obv onzekerheden kalk verzadiging bij hoge T
- Modelresultaten op locatie van monitoringput vergeleken met chemische analyses van watermonsters
- Langere termijn monitoring: Volgende opslagcyclus wordt deze lente geevalueerd



- Zie rapport voor:
 - Resultaten evaluatie Middenmeer
 - Input template voor berekening bijmenging CO₂ obv geochemisch batch model in PHREEQC

```
SOLUTION 0 # Groundwater from the fourth water bearing layer - Sample K-F4 25 Nov 2021 - initializing at lab
condition
      pressure 1      # lab conditions
      temp        20      # lab conditions
      pH          7.5
      pe          0
      redox       pe
      Units       mg/l
      Mn          0.21
      Na          5700
      K           94
      Ca          410
      Mg          530
      Alkalinity  480 as HCO3
      Cl          11000      charge
      Ntg         12.9      # N2
      Mtg         6.9       # CH4

SAVE Solution 0
END

USE Solution 0      # calculate initial composition at reservoir conditions
REACTION_PRESSURE
36.0      # pressure in the reservoir
REACTION_TEMPERATURE
15.5      # initial temperature in the reservoir
SAVE Solution 1
END
```

Wat is het maximale debiet van HTO-putten?

Martin van der Schans, Noor van Eimeren,
Jasper Immink, Niels Hartog, Martin Bloemendal.

Met input van: Benno Drijver (IF), Hans van Meerten (Deltares), Ate Oosterhof (Vitens), Rob Lafort (Evides), Guido Kersten (Oasen), Jeroen Castelijns (Brabant Water)

Aanleiding & doel

Debiet = max. stroomsnelheid x oppervlak boorgatwand

Stroomsnelheid te laag: meer putten nodig (kosten)

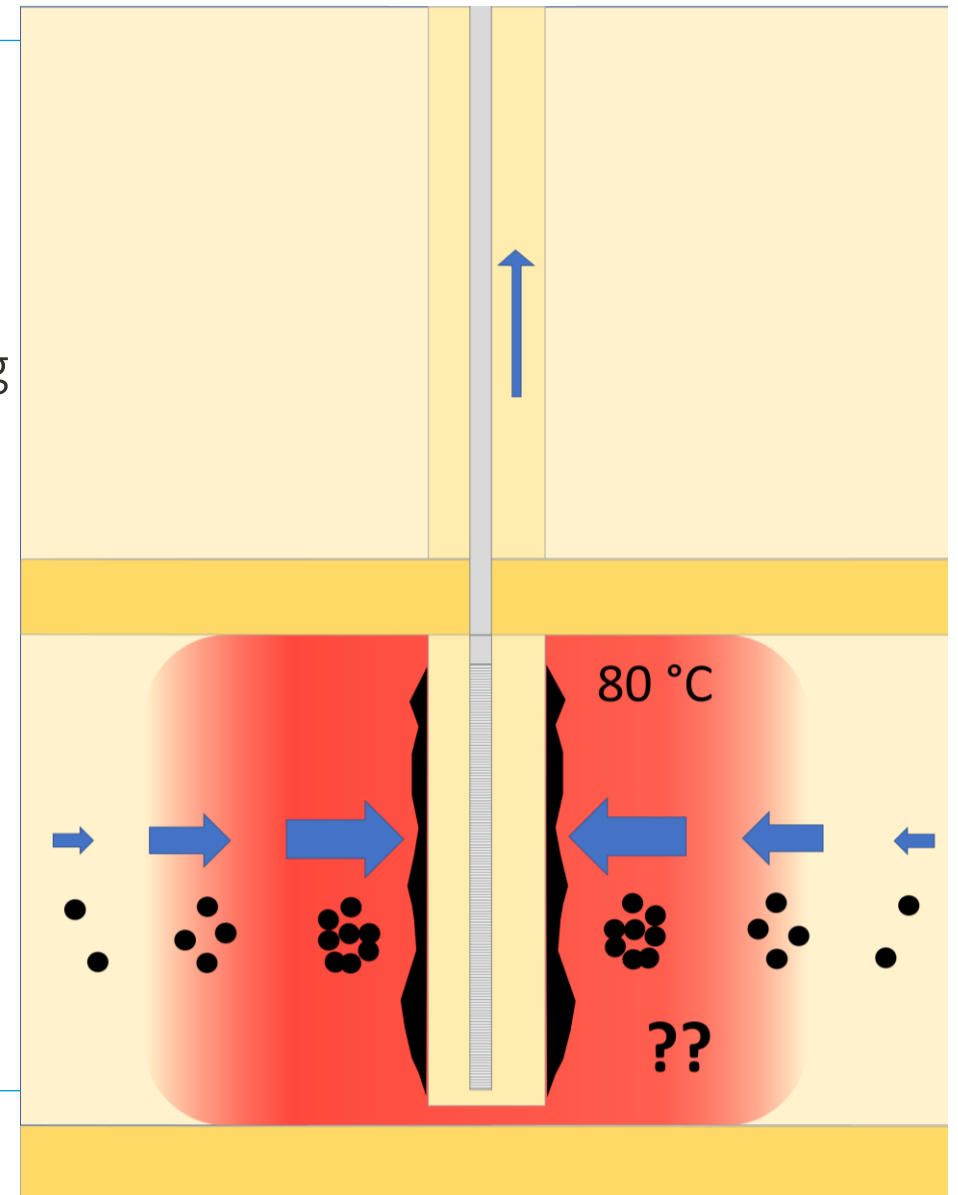
Stroomsnelheid te hoog: zandlevering, deeltjesverstopping

OBES (5-20 °C) en drinkwater (10 °C): ontwerprichtlijnen voor max. stroomsnelheid.

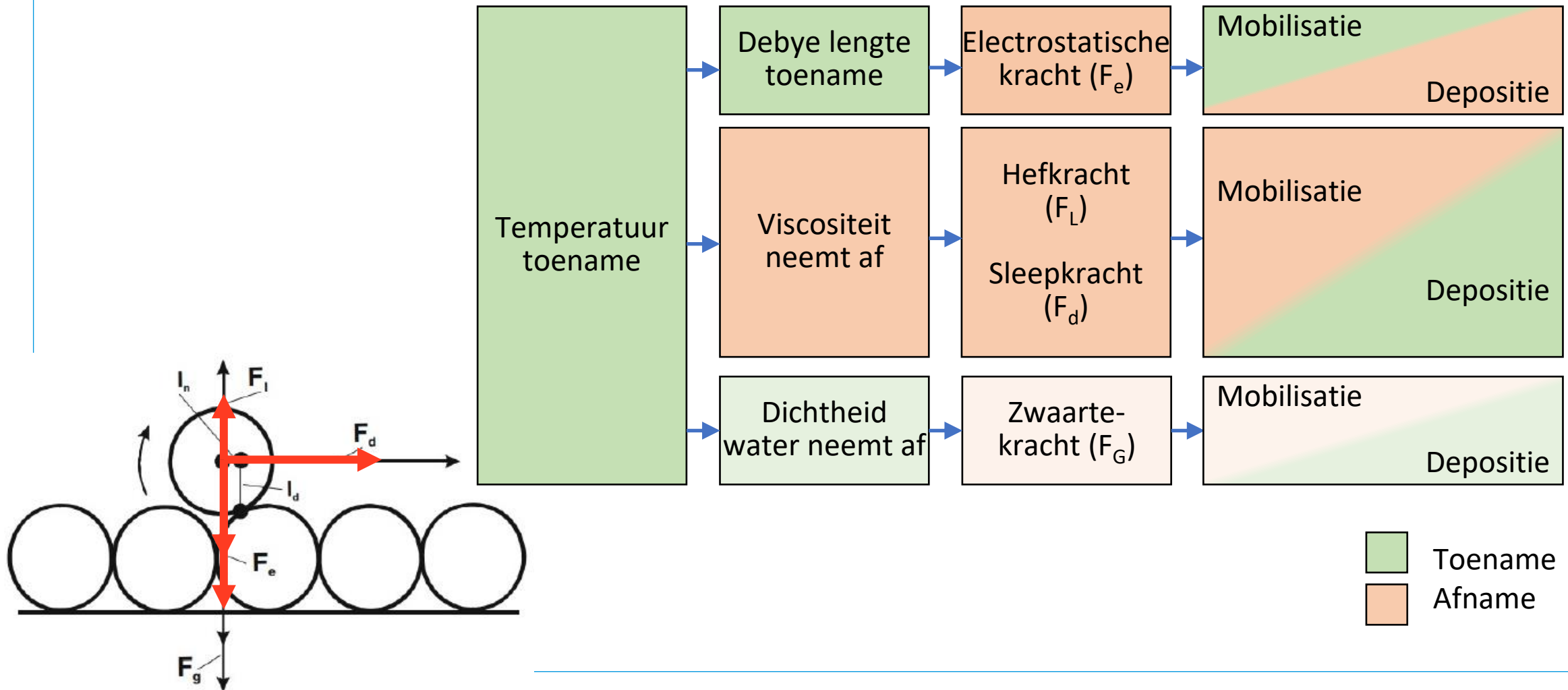
HTO (40-80 °C): geen richtlijnen, wel hypothesen.

Wat is de invloed van temperatuur op transport van deeltjes?

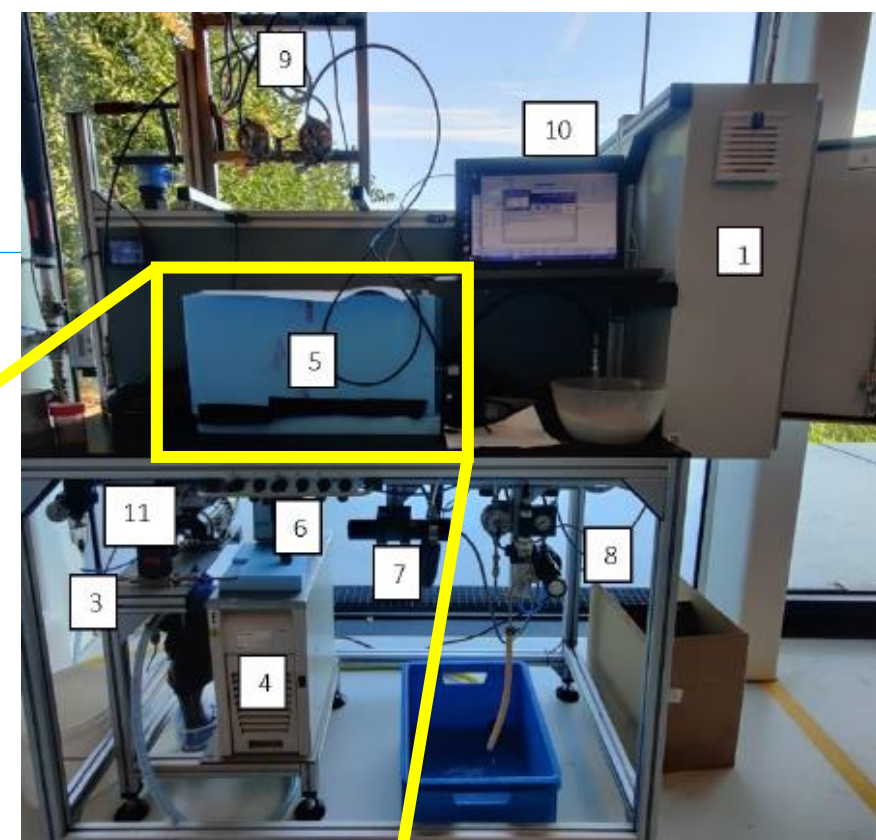
Wat betekent dit voor maximale stroomsnelheid op boorgatwand bij HTO (40-80 °C)?



Invloed van hogere temperatuur op transport van deeltjes



Invloed van hogere temperatuur op max. toelaatbare snelheid boorgatwand



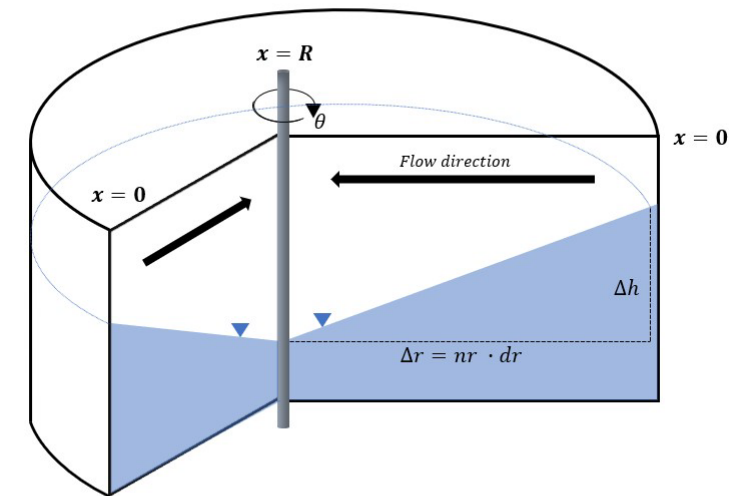
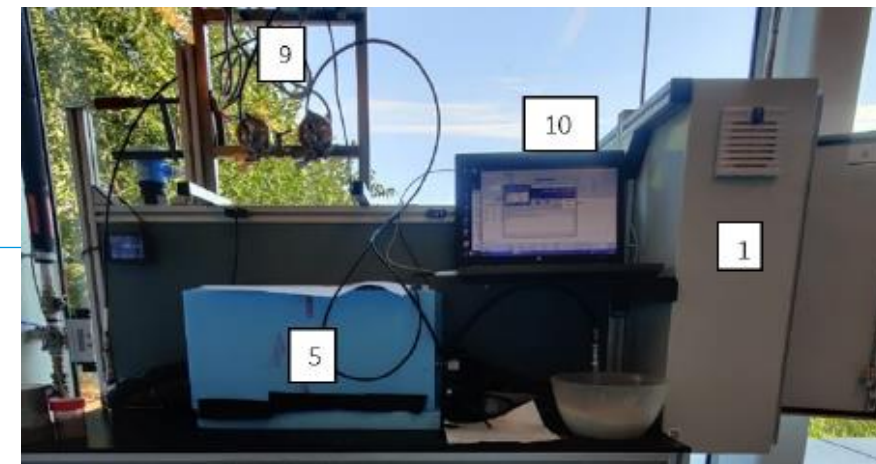
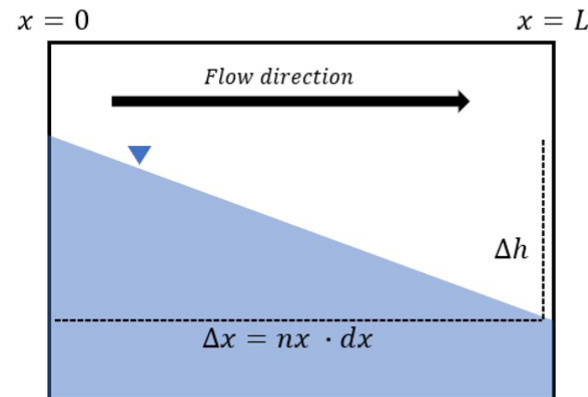
Invloed van hogere temperatuur op max. toelaatbare snelheid boorgatwand

Onttrekkingsbron:

Circa factor 2 hogere
stroomsnelheid haalbaar bij
80°C t.o.v. 20°C.

Retourbron:

Ook hoger debiet want lagere
concentratie deeltjes



$$n \frac{\delta c}{\delta t} = D \frac{\delta^2 c}{\delta x^2} - u \frac{\delta c}{\delta x} - \lambda u c + k_{det} u \sigma_{ini}$$

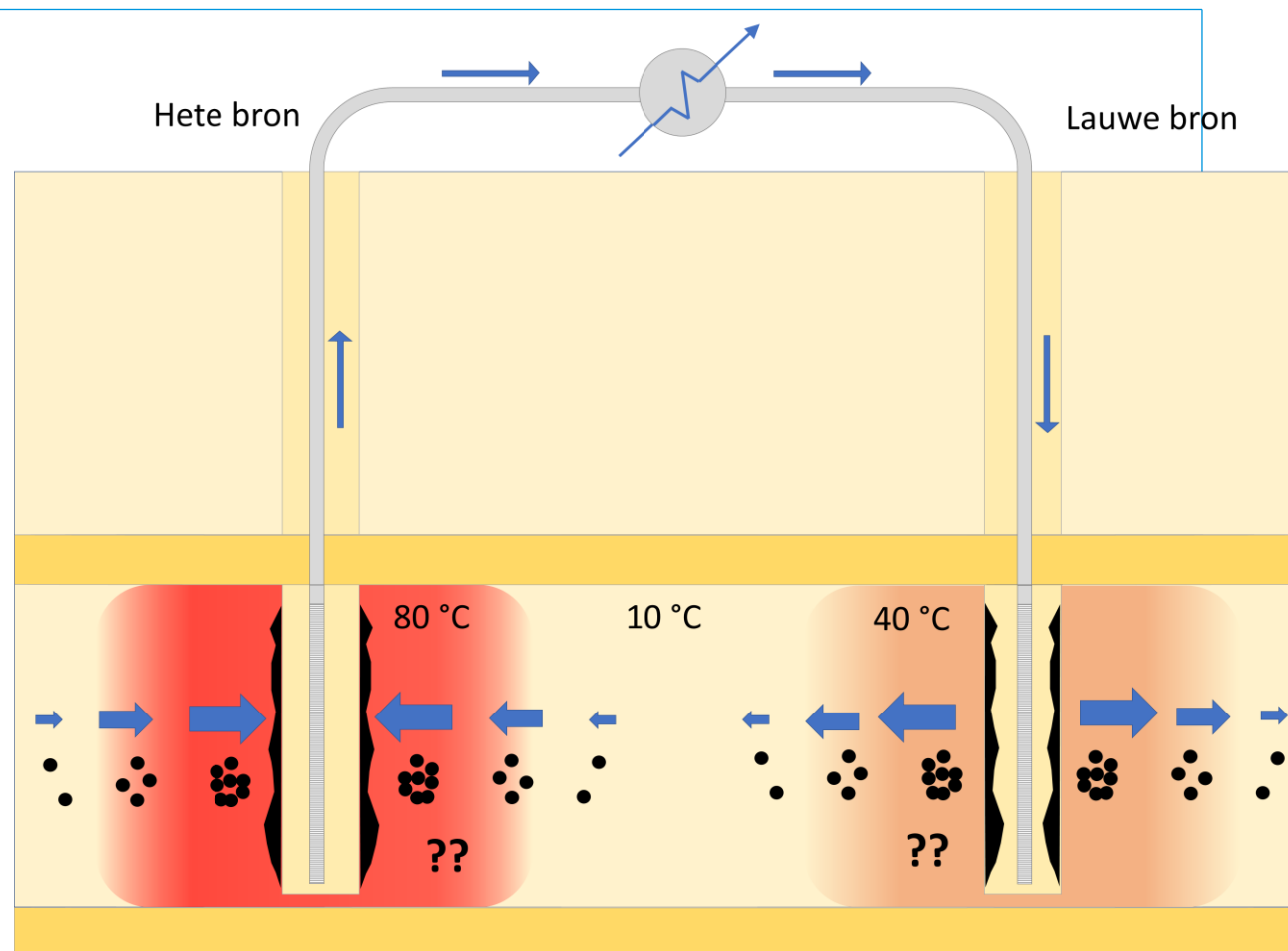
Aanbevelingen

Herhalen analyses naar invloed temperatuur voor niet-beschouwde processen:

- Verschillende kleimineralen,
- Grotere deeltjes,
- Injectiebron ('cake formation'),

Langere proeven in groter schaalmodel

Interactie met andere verstoppingsprocessen ('scaling')





Thermische terugwinrendement HTO

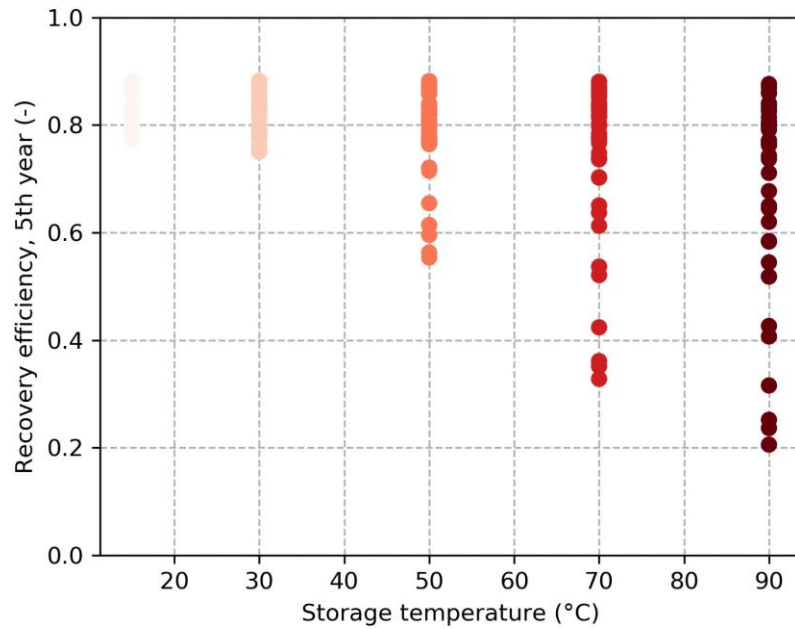
Impact van doorlatendheid

Pitch Stijn - Consortium meeting 6 maart 2023

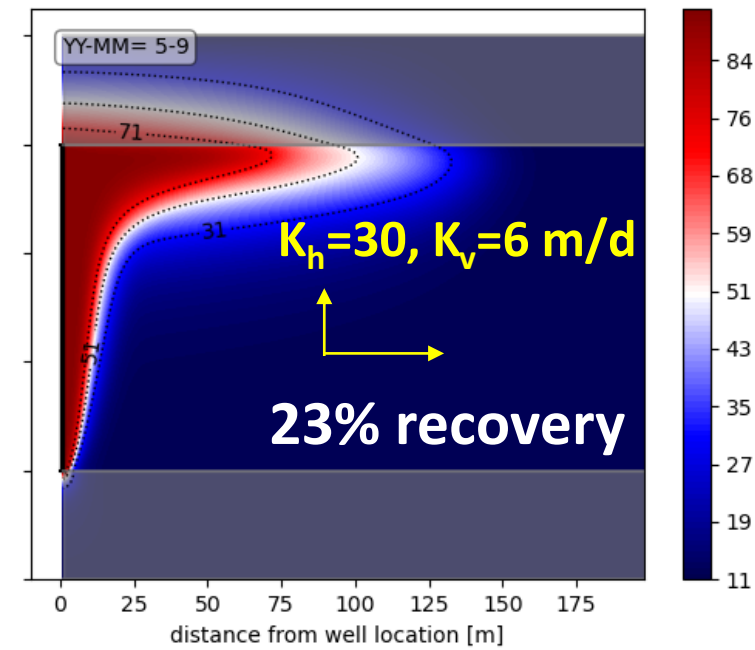
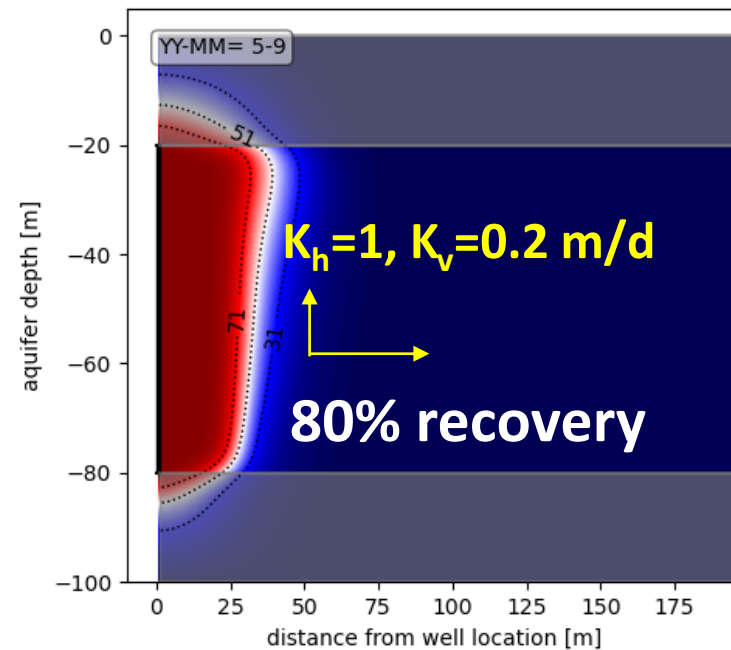


Terugwinrendement bron

WARMING^{UP}



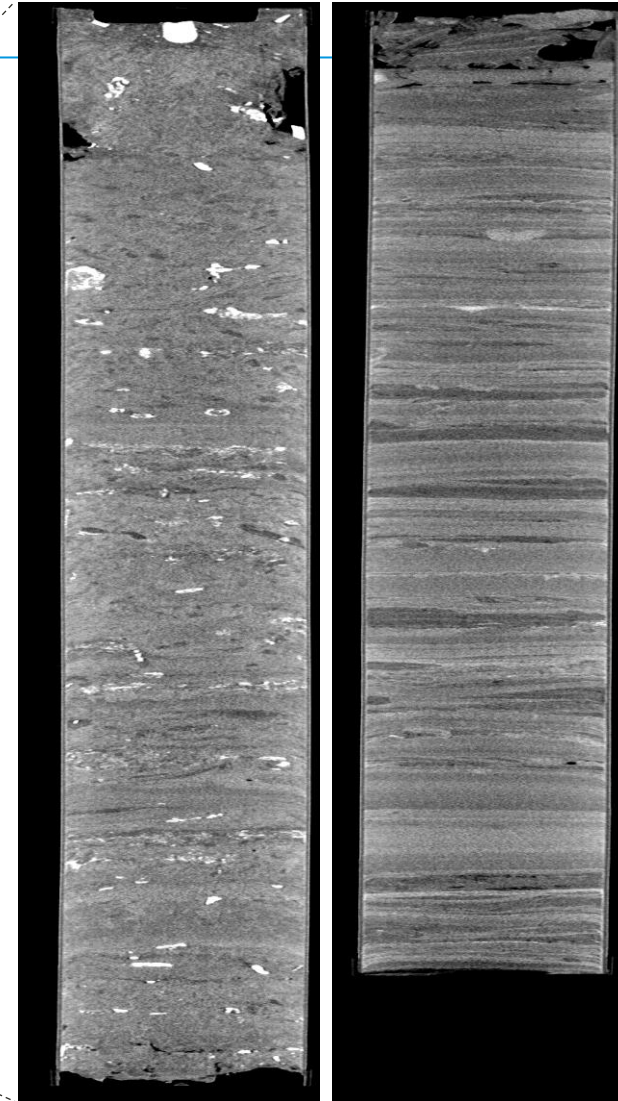
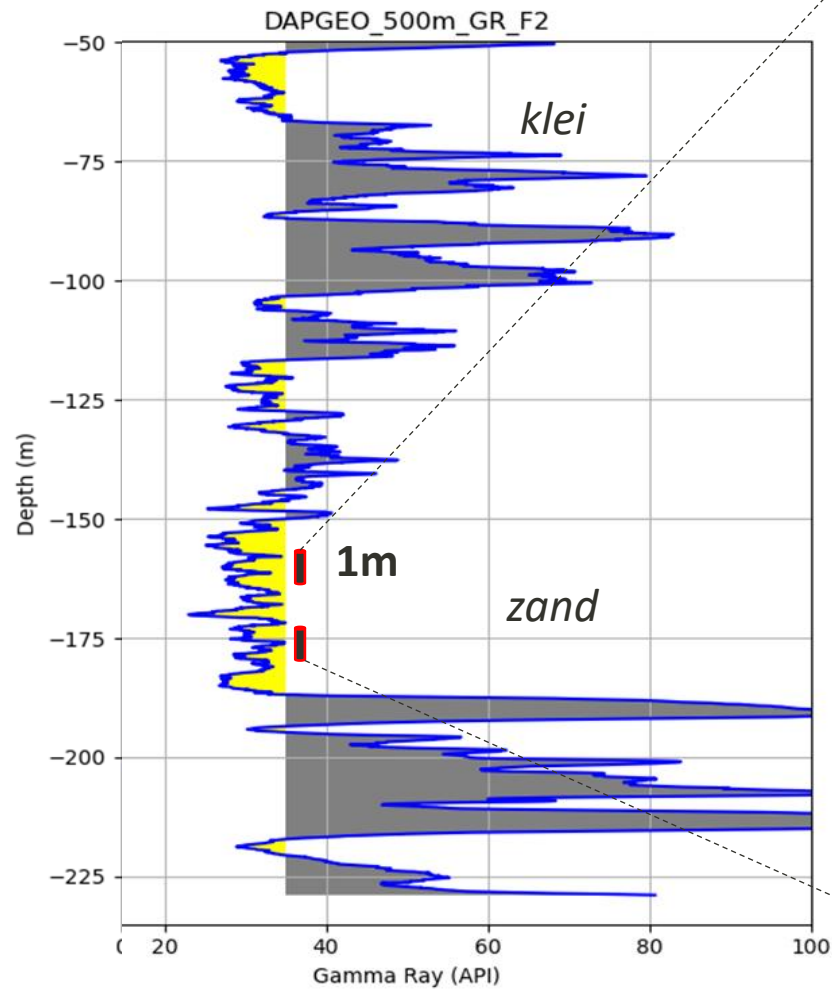
$$RE = \frac{E_{uit}}{E_{in}}$$



Ondergrond is heterogeen

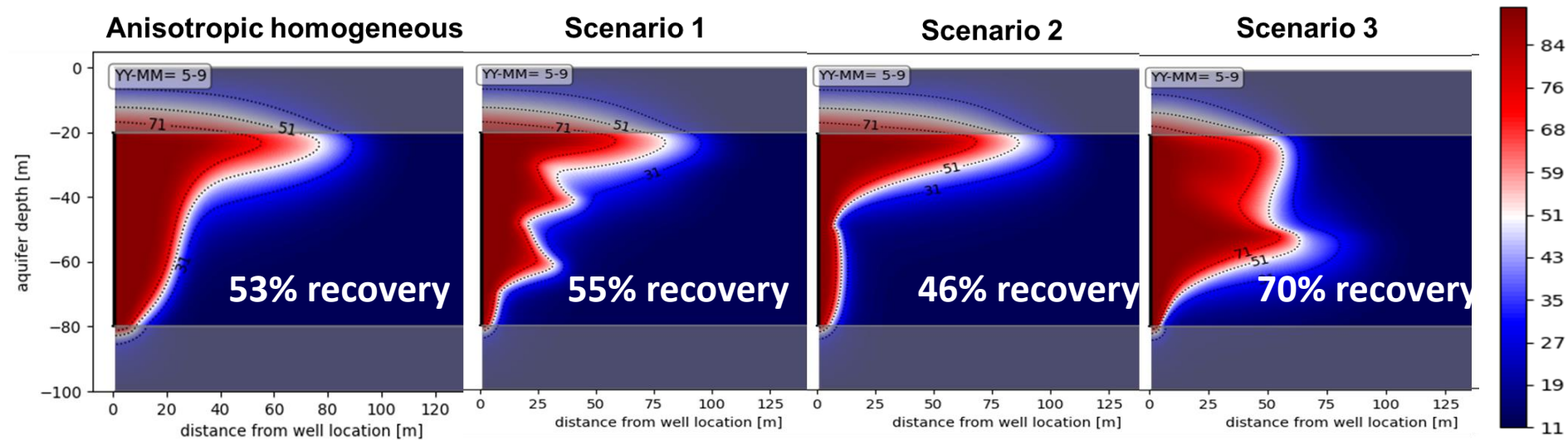
CT-SCANS van kernen

WARMING^{UP}



Impact van heterogeniteit

WARMING^{UP}



→ Doorlatendheid op kleine en grote schaal van invloed!

→ Hoe meten & opschalen?

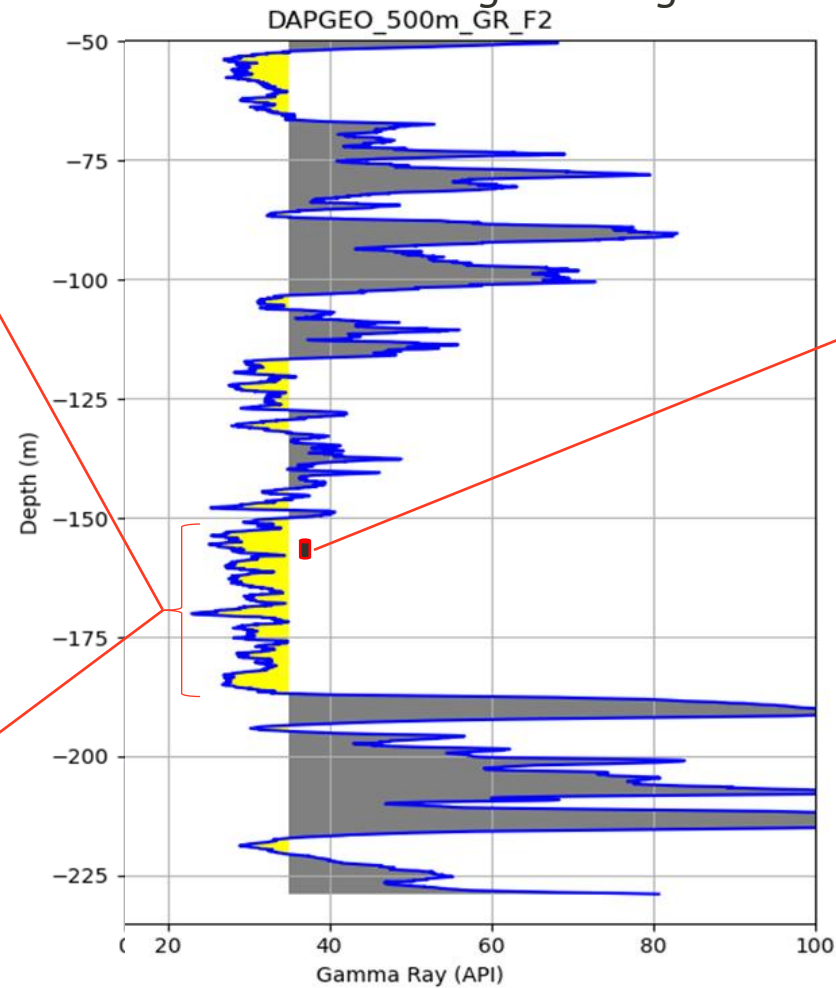
Huidig onderzoek: bepalen efficiënte methodes voor karakterisatie Maassluis

WARMINGUP

Cuttings

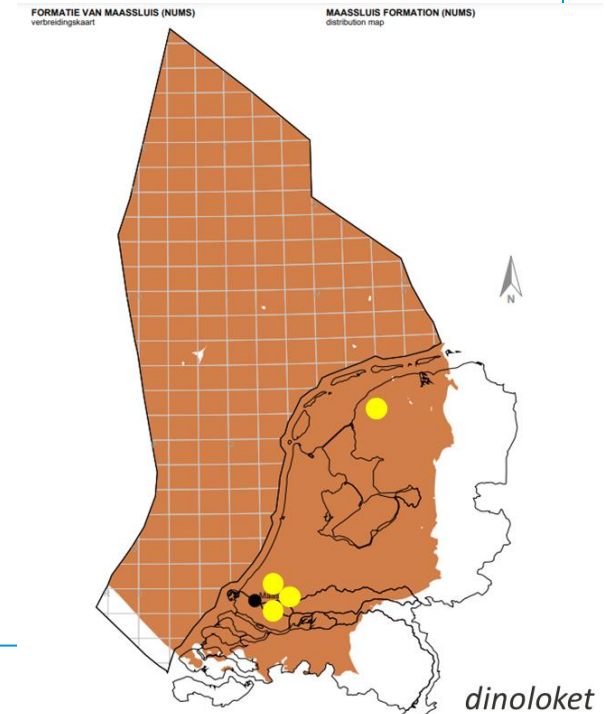
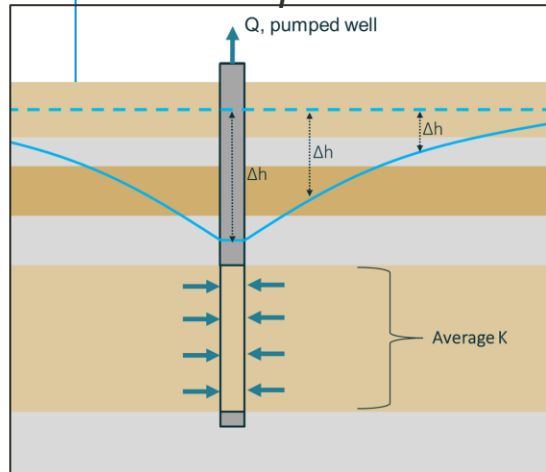


Boorgatmetingen



Kern-analyse

Pomptest



WARMINGUP

Innovatief Duurzaam Warmtecollectief

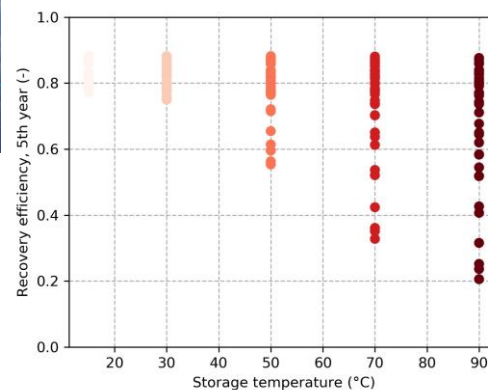
7
MRT

WarmingUP PhD Webinar

09.00 - 13.00 h

Online

WarmingUP PhD will share results of their research with a broader WarmingUP audience

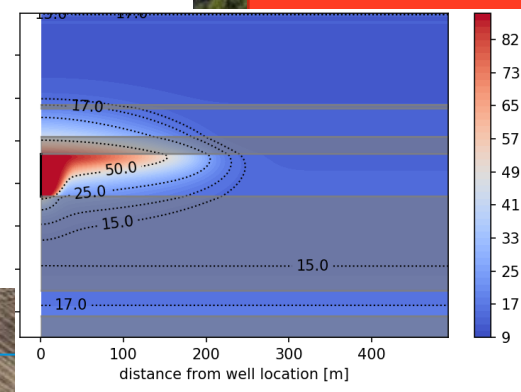


Output PhD

1) Terugwinrendement (15 - 90°C)
voor verschillende opslagcondities
binnenkort online

2) Methodes en onzekerheid
bepalen doorlatendheid
Huidig onderzoek

3) Thermische effecten van HTO
2024



An aerial photograph of a residential neighborhood in Leeuwarden, Netherlands. The houses have distinctive orange-tiled roofs and are arranged in a grid-like pattern. The area is surrounded by lush green forests and fields. In the foreground, there are agricultural fields with rows of crops. The overall scene is a mix of urban development and natural landscape.

WARMING^{UP}

Innovatief Duurzaam Warmtecollectief

HTO proefboring Leeuwarden

Update werkzaamheden

Waarom is HTO belangrijk voor Leeuwarden?

WARMINGUP

- Laden van duurzame geothermiewarmte in de zomer om toekomstige wintervraag pieken op te vangen
- Minder afhankelijkheid van aardgas door het opvangen van warmtevraag pieken in de winter
- Verduurzaming van het warmtenet
- CO2 uitstoot besparing
- Verbeteren van de warmteopbrengst uit het geothermiesysteem
- De geothermie activiteiten worden uitgevoerd door Warmte van Leeuwarden
- De HTO wordt uitgevoerd onder beheer van Shell i.s.m. EBN en Ennatuurlijk
- Het onderzoek naar HTO in Leeuwarden vormt onderdeel van WarmingUP



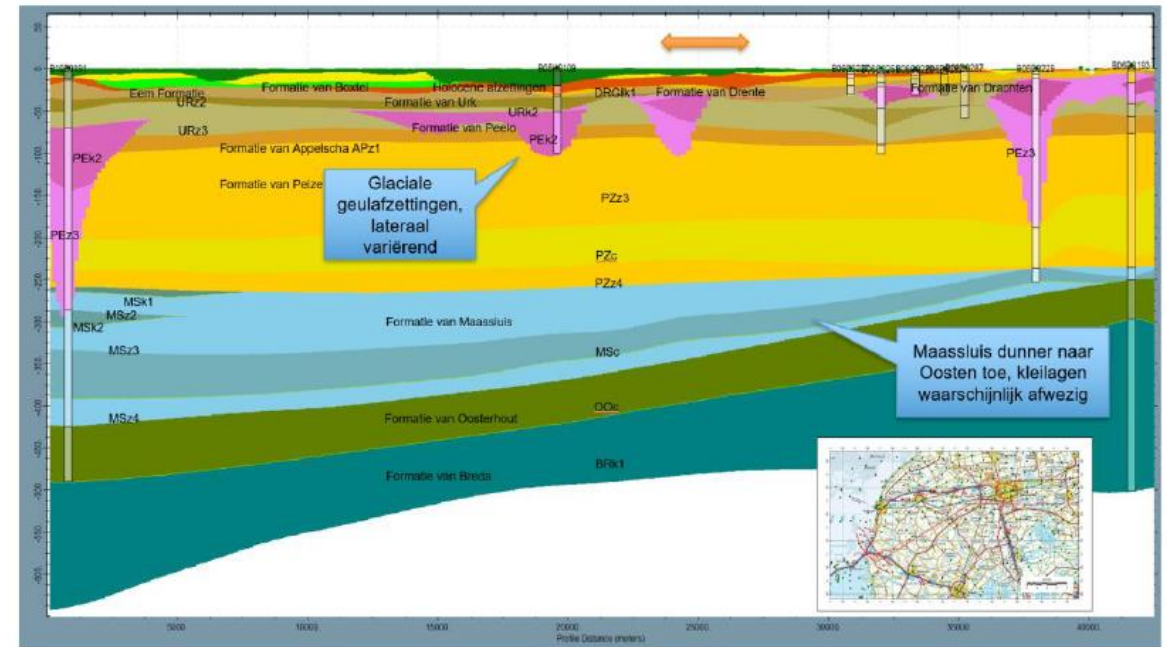
Waarom doen we onderzoek?

WARMING^{UP}

Proefboring noodzakelijk voor:

1. bepaling eigenschappen van de bodem
 - Aanwezigheid afsluitende **kleilagen**?
 - Aanwezigheid geschikte **eigenschappen** van de watervoerende laag?
2. monitoringsput voor het HTO-systeem
 - Verwachten we **effecten** bij toepassing van Hoge Temperatuur Opslag?

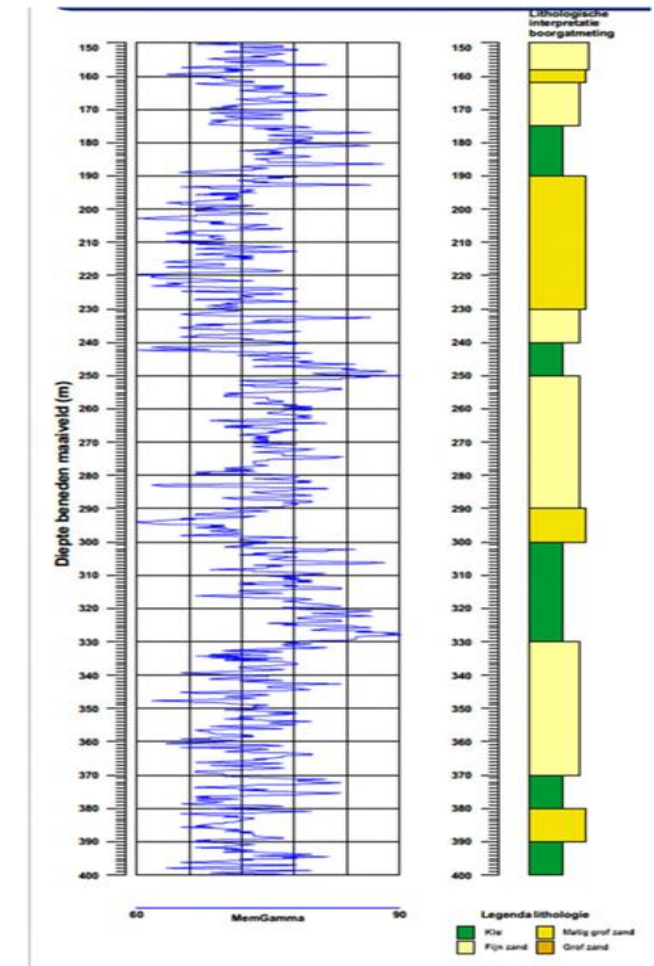
Ter info: diepte onderzoeksboring ca. 400 m



Bronontwerp proefboring

WARMING^{UP}

- Drie mogelijke opslagpakketten geïdentificeerd tijdens geothermieboring:
 - 190 – 240 m-mv
 - 250 – 300 m-mv
 - 330 – 370 m-mv
- In één of twee pakketten bronfilter plaatsen, verder peilbuizen (RVS)
- Eigenschappen zandpakketten en kleipakketten vaststellen met als doel een geschikt opslagpakket vinden



- | | |
|--|--|
| • Programma van eisen voor de proefboring: | Q1 en Q2, 2022 |
| • Contractvorming Haitjema : | Q3 - Q4, 2022 |
| • Vergunningen: | Q2, 2022 – Q1, 2023 |
| • Werkvoorbereiding: | Q4, 2022 – Q1, 2023 |
| • Uitvoering: | 13 maart start inrichting
werkterrein;
20 maart 24/7 boren;
27 maart 24/7 inbouwen;
April ontwikkelen en testen. |
| • Analyse resultaten en rapportage | Mei - juli |

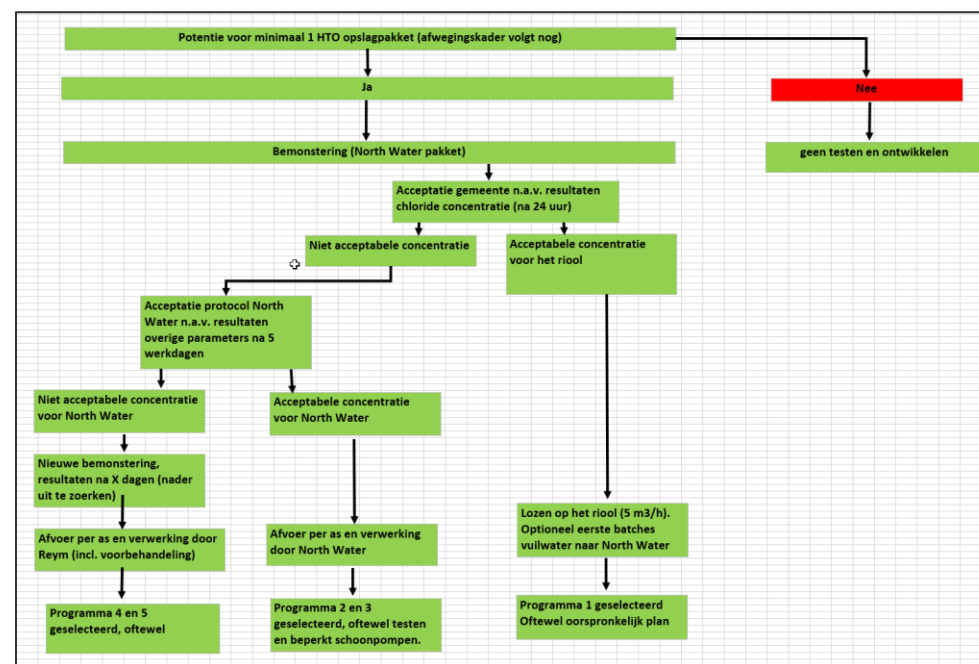
Mijnbouwlocatie

- Aanpassing inrichtingsgrenzen, stringente veiligheidseisen waar de HTO sector niet aan gewend is.

Lozen

- Zout water maakt vinden geschikte loosoptie ingewikkeld
- Onderzochte opties: infiltratie in de bodem, lozen op oppervlaktewater, lozen op hemelwater- en vuilwaterriool, en afvoer per as
- Lozen door afvoer per as heeft veel impact op kosten project.

Vergunningstrajecten lopen langer dan vooraf gedacht



WARMINGUP

Innovatief Duurzaam Warmtecollectief

WarmingUp.info
contact@warmingup.info



WARMING^{UP}

Innovatief Duurzaam Warmtecollectief

HTO Delft

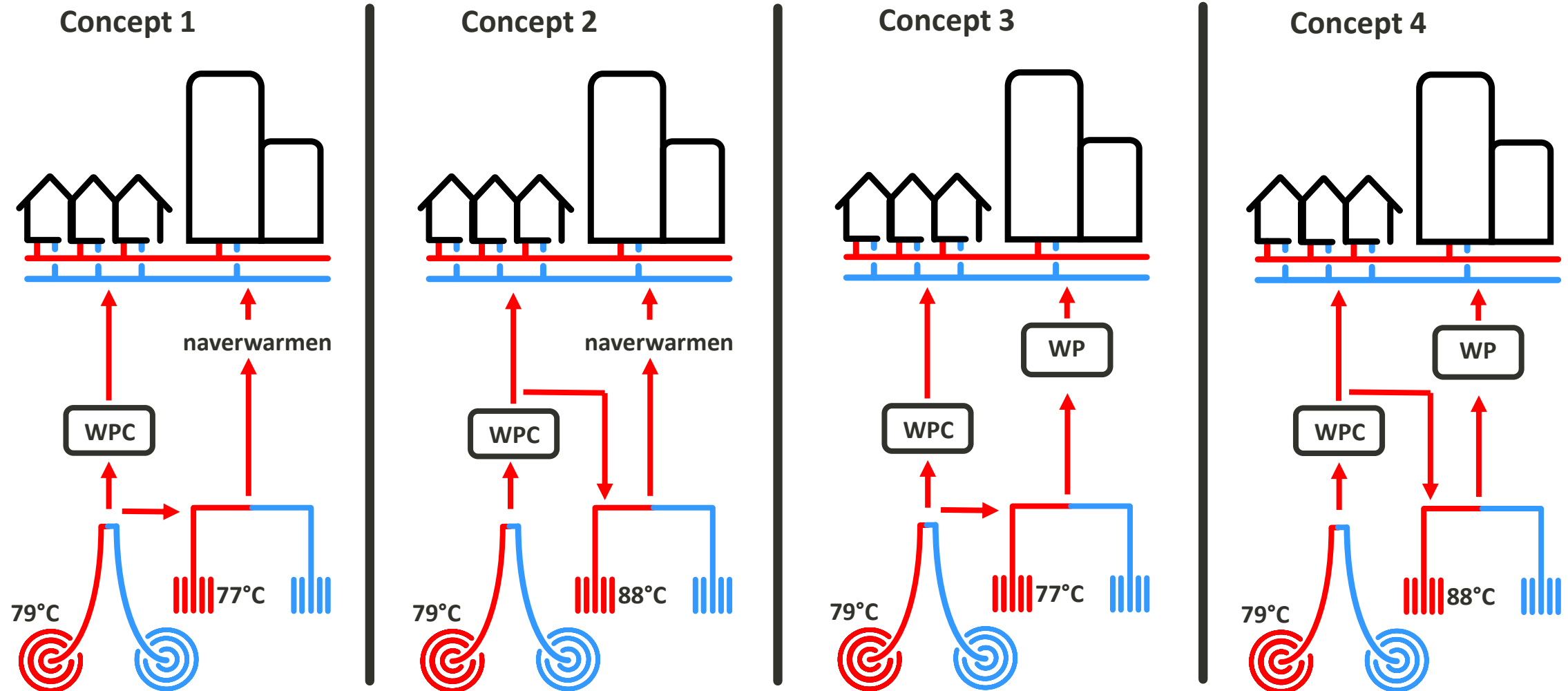
Update

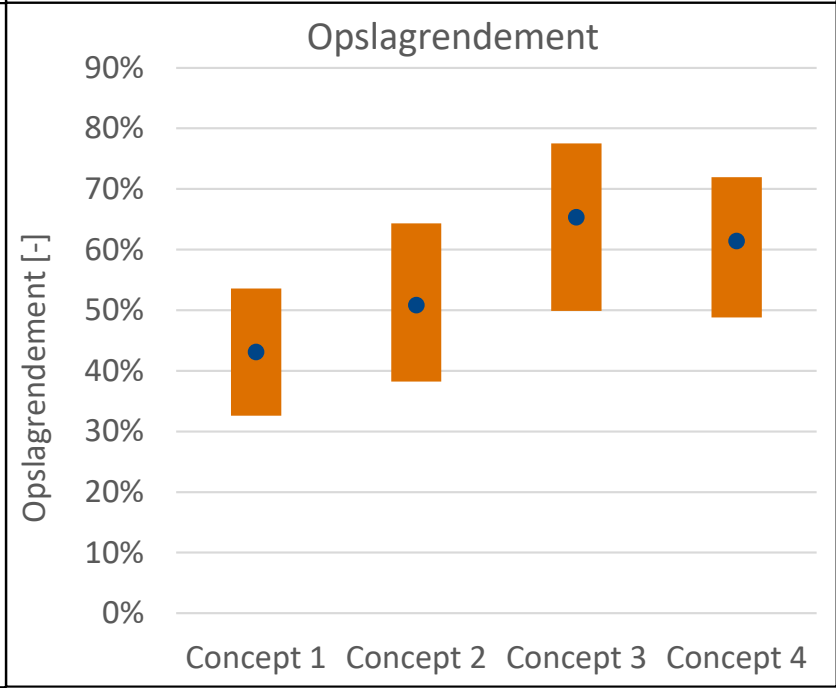
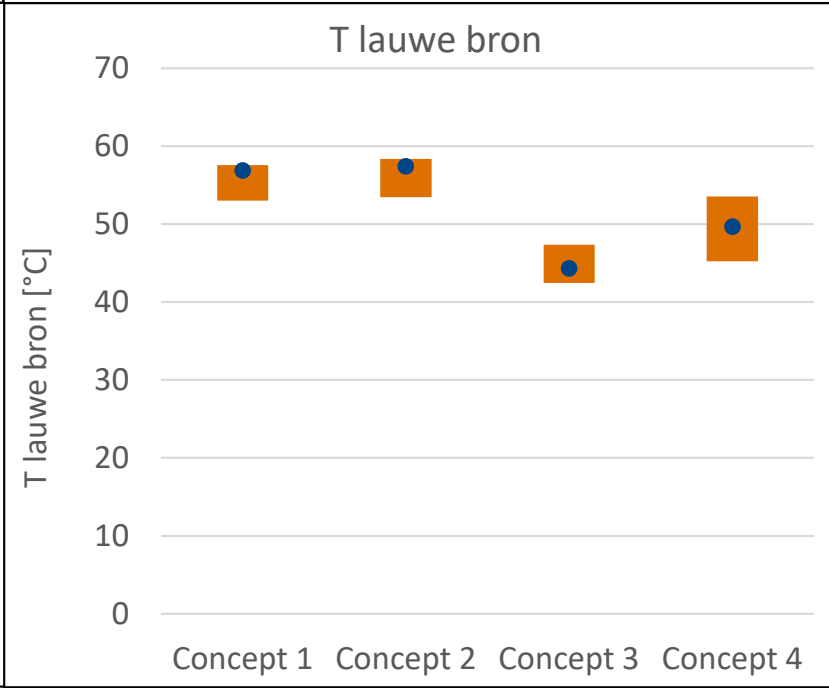
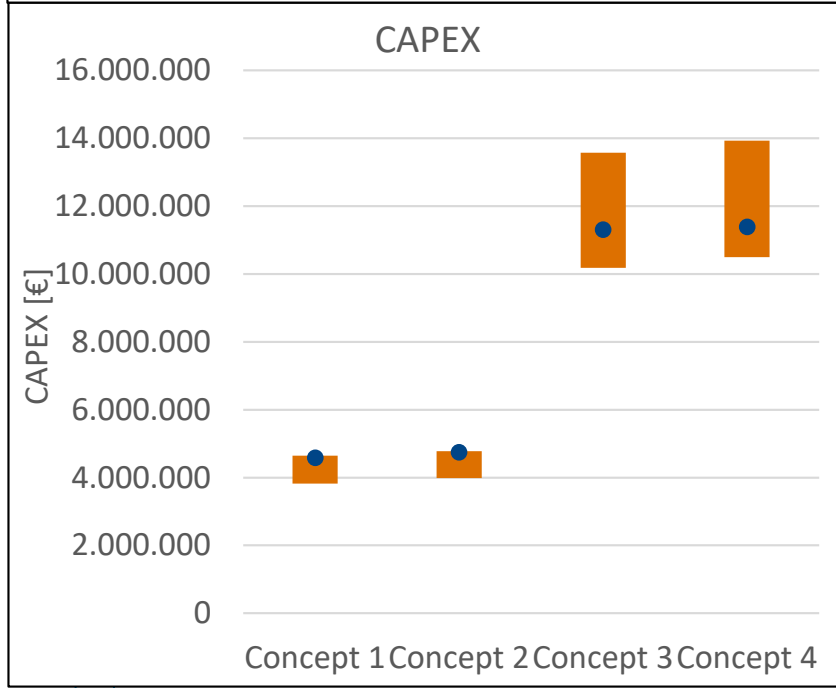
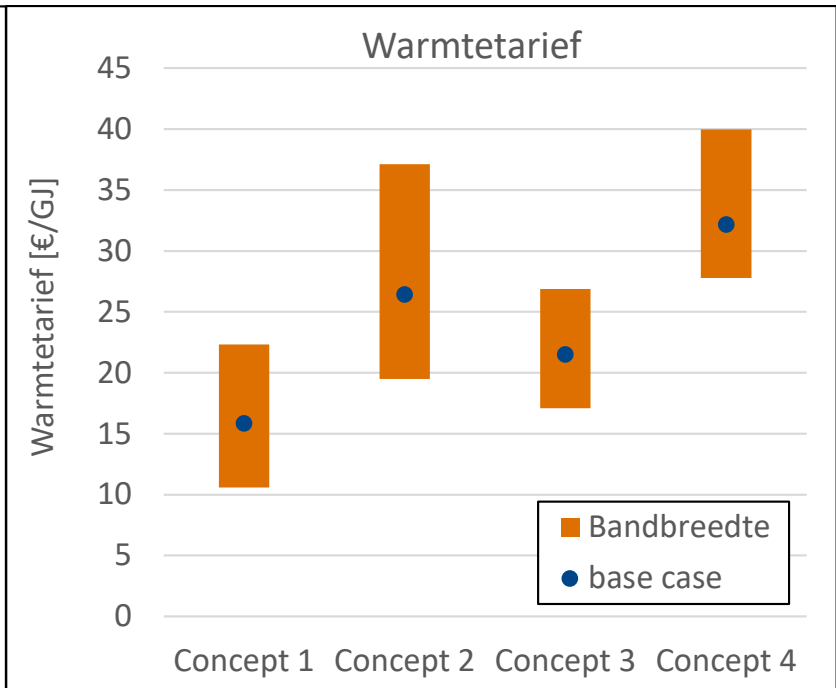
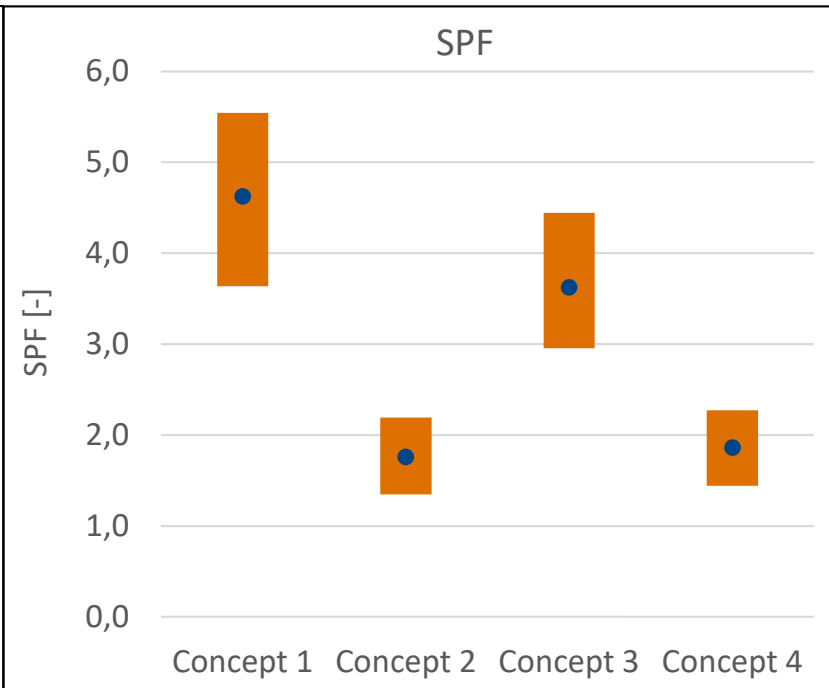
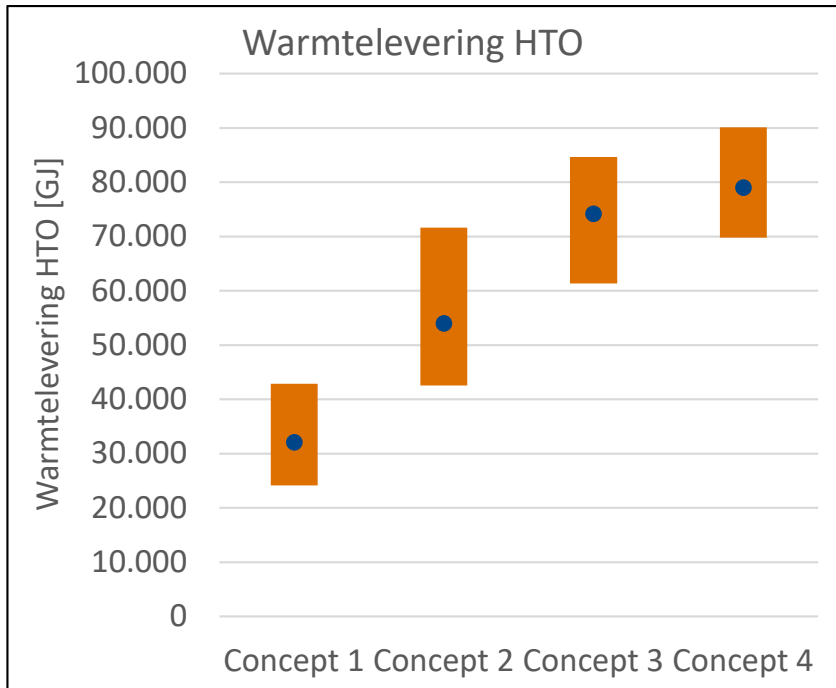
Consortium meeting 6 maart 2023



Concepten

WARMING^{UP}

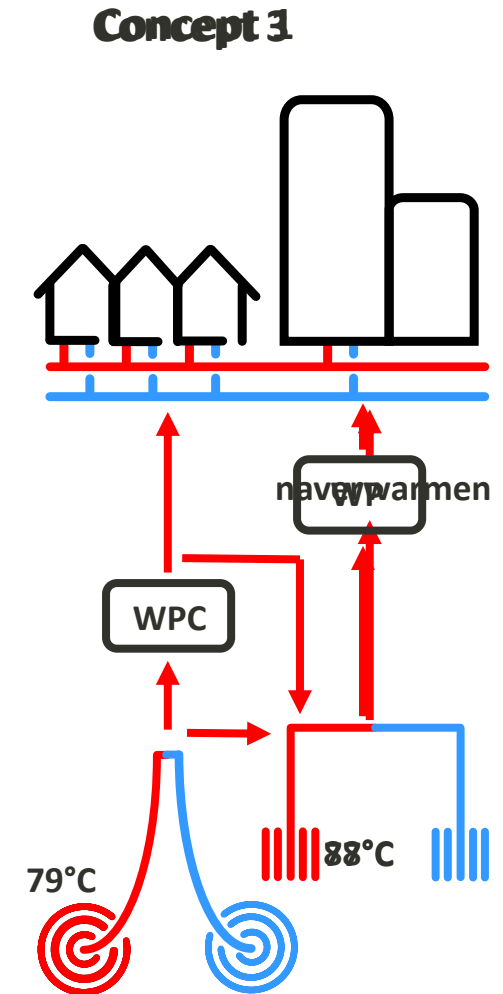




Concept select

WARMING^{UP}

- Starten met concept 1
 - Lage CAPEX
 - Laagste warmtetarief
 - Risico: beperkte ΔT bronnen
- Doorgroeien naar concept 3
 - Verhoogt bijdrage
 - Verhoogt opslagrendement
 - Locatie twee opties
 - Op de campus: organisatorisch eenvoudiger
 - In de stad: meer ruimte en verhogen capaciteit leiding onder Schie
- Optie 2 wordt open gehouden
 - Maakt power to heat mogelijk in zomer



Doel eind 2025 operationeel!

Eerste prioriteiten:

- Vergunningaanvraag waterwet
- Proefboring
- Inpassing bronnen, leidingwerk en technische ruimte

Deelnemers



Gemeente Almere



UNIE VAN
WATERSCHAPPEN

TNO

Deltares

TU Delft



Den Haag



stowa

Rijkswaterstaat

KWR



Universiteit Utrecht

TU/e

SAXION

× Gemeente
× Amsterdam
×

Gemeente Rotterdam

VATTENFALL



Gemeente Breda



provincie ZUID HOLLAND



bodem
energie.nl



ennatuurlijk



Eneco

enpuls

Firan



HOLLAND
RIJNLAND
WAAR DE RANDSTAD TOT BLOEI KOMT

UITVOERINGSPROGRAMMA

BODEM & ONDERGROND

NET
VERDER

capturam

Huisman

ENGIE



GREENVIS
ENERGY SOLUTIONS

THE GREEN
VILLAGE

efteling

aanbod

vraag

38 deelnemers + 16 partners



Gemeente Almere



UNIE VAN
WATERSCHAPPEN

WN

TNO

Deltares

TU Delft



Den Haag



Gemeente Utrecht

stowa

KWR



Universiteit Utrecht

TU/e

× Gemeente
× Amsterdam
×



Gemeente Rotterdam



Rijkswaterstaat



VATTENFALL



SAXION



Gemeente Breda



provincie HOLLAND
ZUID

NAT Netwerk
Aqua
Thermie

ennatuurlijk

SVP

Firan

Eneco



Visser & Smit Hanab
brengt energie

provincie limburg



ebn

bodem
energie.nl

NET
VERDER



techniplan adviseurs b
RAADGEVEND INGENIEURSBUREAU

enpuls

capturam



Tauw



HOLLAND
RIJNLAND

WAAR DE RANDSTAD TOT BLOEI KOMT

UITVOERINGSPROGRAMMA

BODEM & ONDERGROND



thermaflex®



rotterdam
engineering



Feenstra



THE GREEN
VILLAGE

ENGIE



Huisman

Platform
Geothermie

GREENVIS
ENERGY SOLUTIONS

CE Delft



efteling

heijmans

WARMINGUP

Innovatief Duurzaam Warmtecollectief

WarmingUp.info
contact@warmingup.info

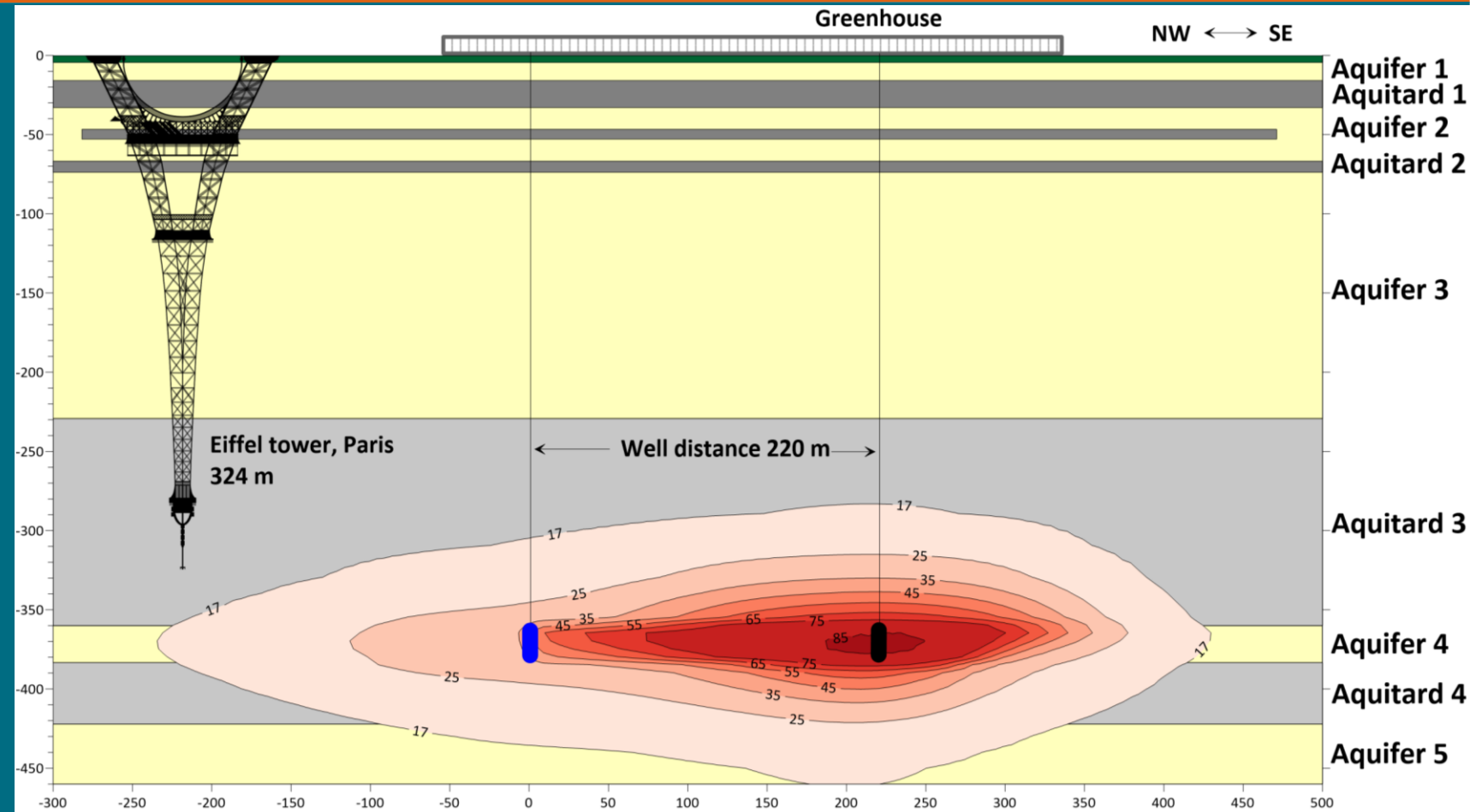


HTO bij ECW Energy te Middenmeer

Ervaringen bij dit operationele HTO-systeem

WINDOW Constortiummeeting 6 maart 2023

Peter Oerlemans



ECW Energy te Middenmeer: Geothermie

**Aardwarmte
2400 m diep**

**HT-Opslag
380 m diep**



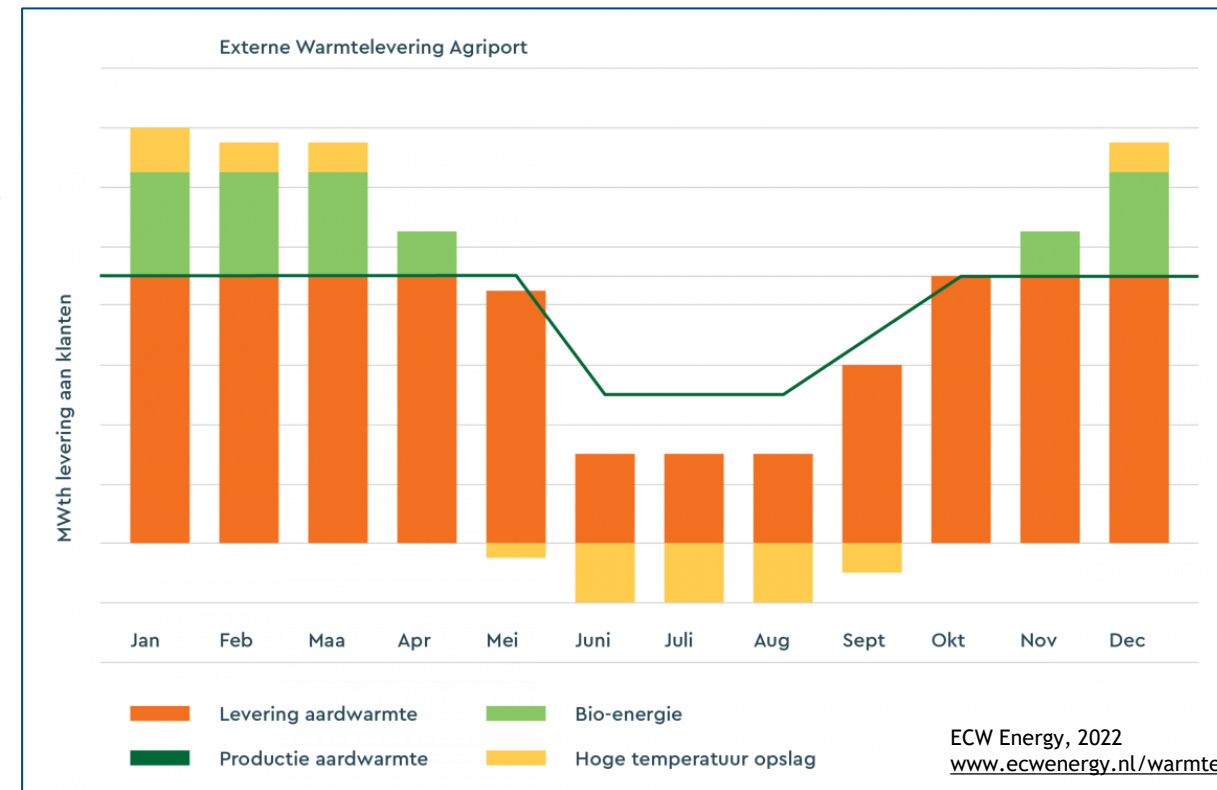
ECW Energy te Middenmeer: Geothermie + HTO

Waarom HTO?

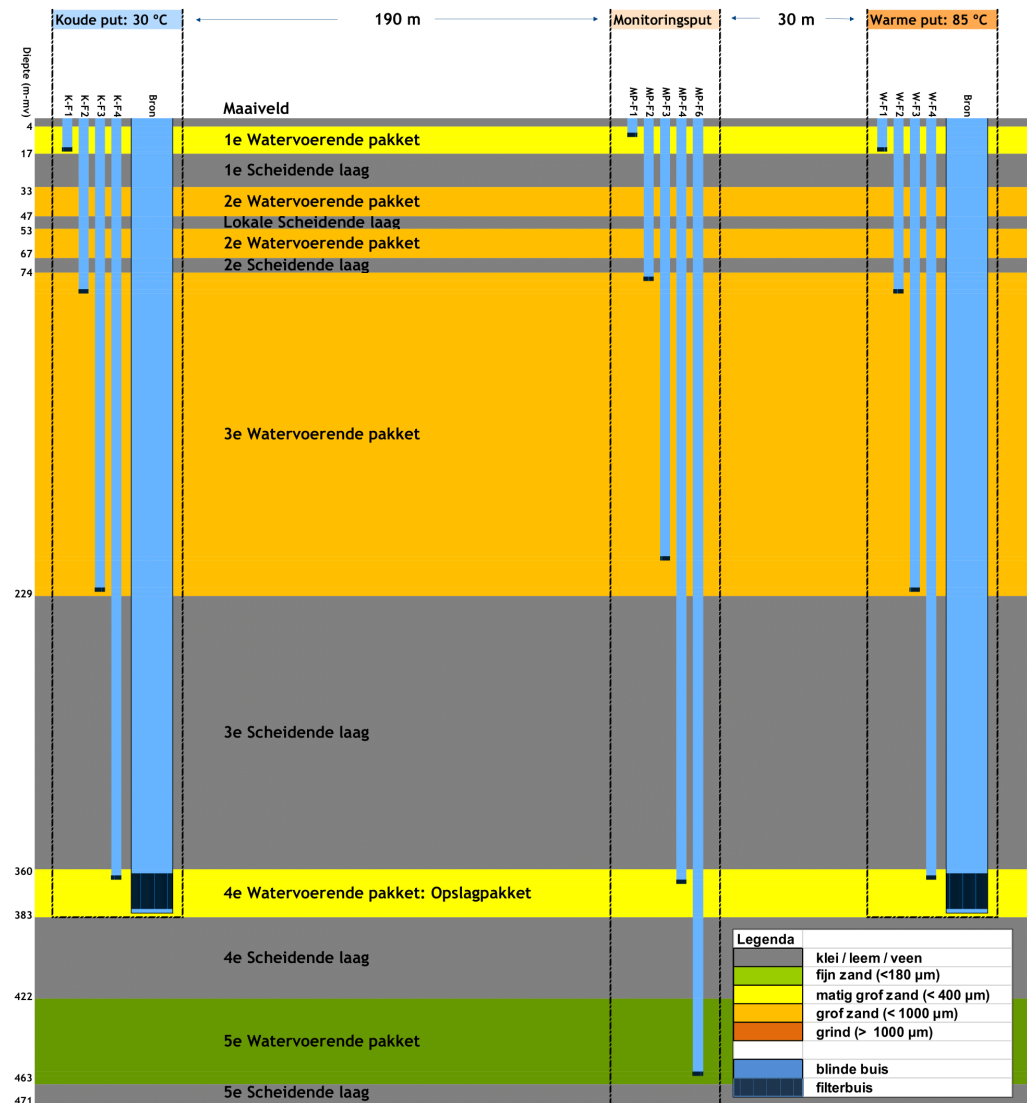
- Overcapaciteit van GT (zomer) wordt beschikbaar in winter
- Terugdringen van CO₂-uitstoot

Hoe helpt HTO om CO₂-uitstoot terug te dringen?

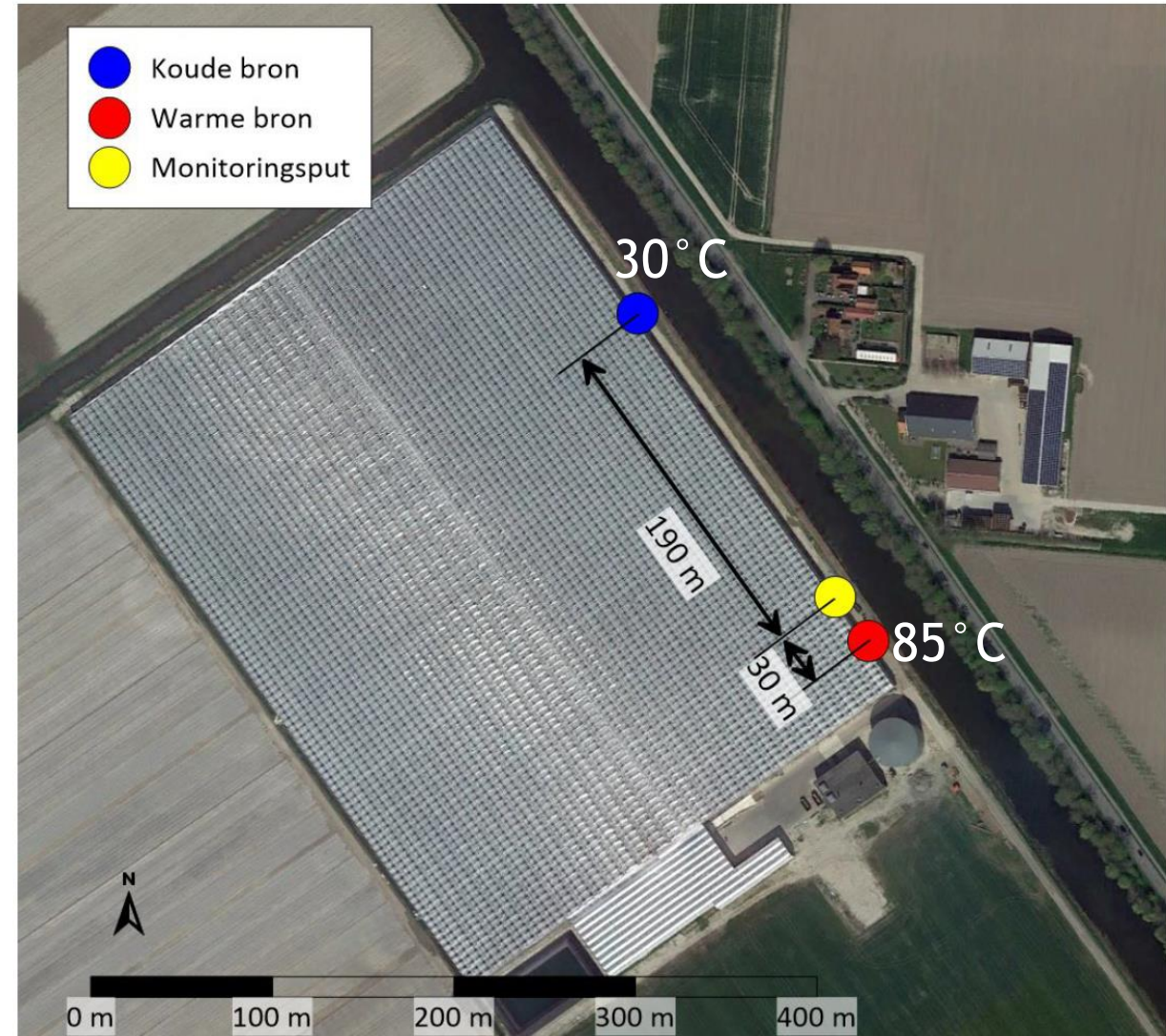
- Zomer: Opslag van duurzame GT warmte in de HTO (85 C)
- Winter: Teruglevering van GT-warmte → beperkt inzet van fossiele warmtebronnen!



Hoe ziet het HTO-systeem er nu uit?



Putconfiguratie HTO ECW Energy Middenmeer (niet op schaal).
ECW Energy & IF Technology, 2021



Hoe ziet het HTO-systeem er nu uit?

Boorwagen



Composiet put, met glasvezel DTS kabel



HT-bron met peilbuizen



Monitoring en onderzoek aan de HTO

- HTO is ontwikkeld binnen HEATSTORE (2018 - 2021)



2022-
2025

- Monitoring & Optimalisatie
- Interpretatie resultaten



2022 - 2025:
2023:

TKI-project 'HTO-PEN'
WarmingUP Rapport C3

Monitoring & onderzoek

Monitoring

- Effecten (temp, grondwaterkwaliteit)
- Operationele prestatie

Beheer:

- Waterbehandeling
- Optimalisatie van performance (rendement, techniek, etc.)

Lessen uit dit demonstratieproject zijn essentieel voor de ontwikkeling van HTO in Nederland!



Resultaten tot nu toe

First field results on the technical risks and effectiveness of mitigation measures for the full scale HT-ATES demonstration project in Middenmeer

Peter Oerlemans¹, Benno Drijver¹, Mariëlle Koenen², Joris Koornneef², Dorien Dinkelman², Wim Bos³, Bas Godschalk¹

¹ IF Technology BV, Velperweg 37, 6824 BE Arnhem, the Netherlands

² TNO, Applied Geosciences, 3584CB Utrecht, the Netherlands

³ ECW Energy, Agriport 109, 1775 TA Middenmeer, the Netherlands

p.oerlemans@iftechnology.nl

Technische prestatie van HTO-systeem

- Waterbehandeling: succesvol
- Risico zandproductie: beperkt
- Warmteverliezen via de warme stijgbuis: impact op rendement

Link naar paper:

[First field results on the technical risks and effectiveness of mitigation measures for the full scale HT-ATES demonstration project in Middenmeer](#)

Effecten op de ondergrond (cyclus 1 en 2):

- Grondwaterkwaliteit: Worden vanuit TKI 'HTO-PEN' en WarmingUP (C3) uitgebreid onderzocht in Q2 2023.
- Temperatuur: Reeds bekeken voor cyclus 1

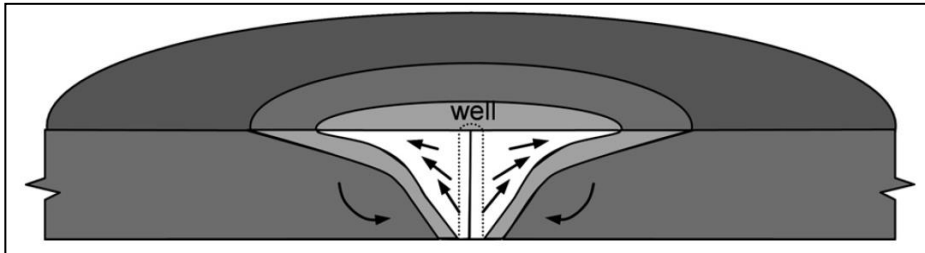
Thermische effecten cyclus 1 (2021-2022)

Meting bij meetput (30 m van W-bron)

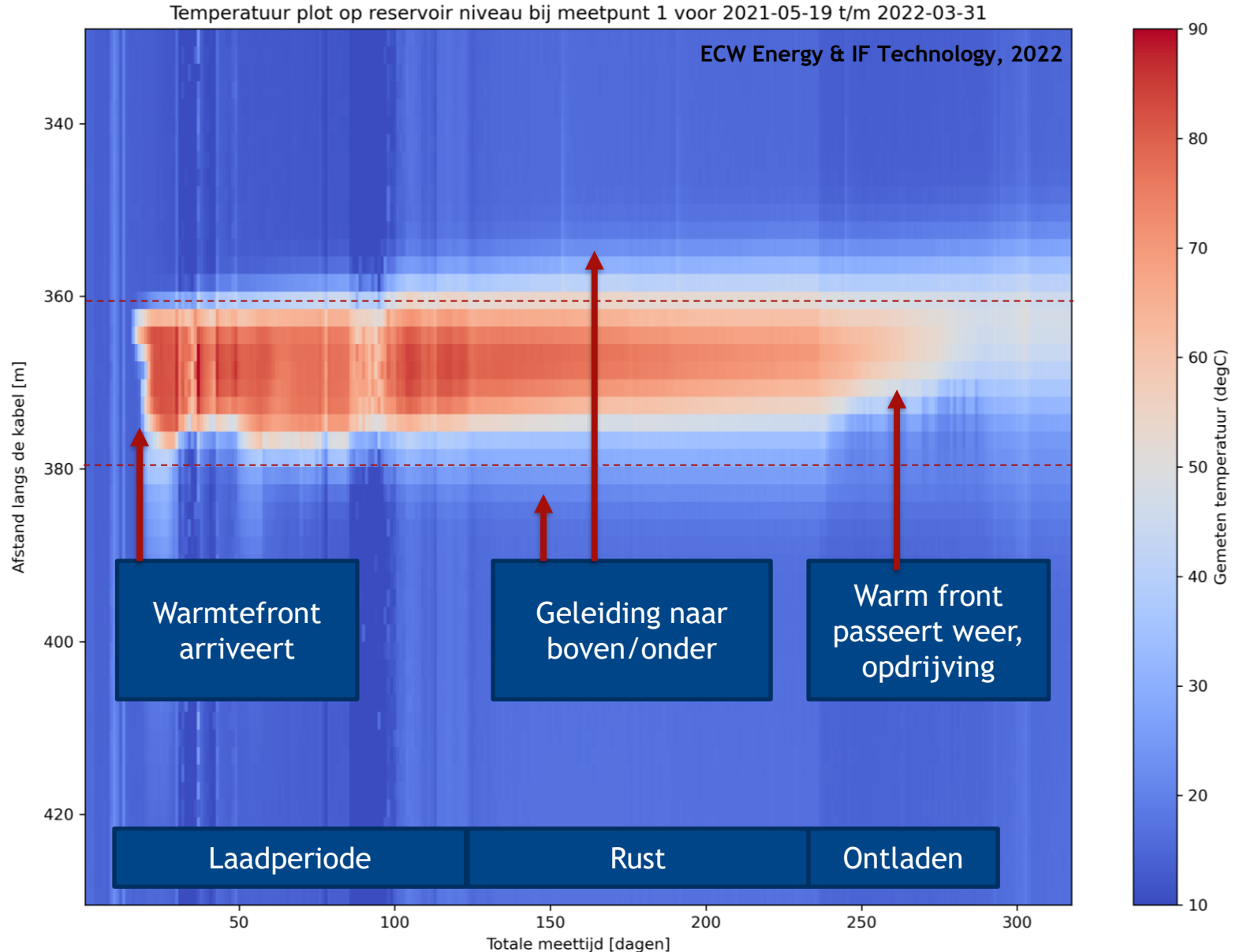
Warmtetransport processen:

- Stroming (injectie bij W-bron)
- Warmtegeleiding
- Opdrijving van warmte

Verder: enige ruis op de lijn



Ward et al. 2009





IF Technology **Creating energy**