ekwadraat
ARCHITECTS OF THE SUSTAINABLE CHAIN

Het hergebruik van ondergrondse cavernes voor warmtetoepassingen

Kennisagenda Aardwarmte/Kas als energiebron

Chun Lam Yip, Frank van Bergen, Jan Zuidema

21-01-2020

Inhoudsopgave

1. Inleiding en doel van het onderzoek
2. Afbakening van het onderzoek
3. Cavernes in Nederland
4. Theoretische potentie warmteonttrekking
5. Warmteopslag
6. Systeemkeuze
7. Conclusie en aanbevelingen

Inleiding en doel van het onderzoek

- In het kader van vijfde onderzoekscall Kennisagenda Aardwarmte is het onderzoek uitgevoerd
  - Start onderzoek 1 november 2018
  - Overleg begeleidingscommissie op 19 december 2018
  - Oplevering conceptrapportage was op 1 maart 2019
  - Totale project budget is € 16.800,-

- Doel van het onderzoek:

Theoretische studie van de technische en financiële haalbaarheid van winning van aardwarmte en/of warmteopslag in zoutcavernes in Nederland.

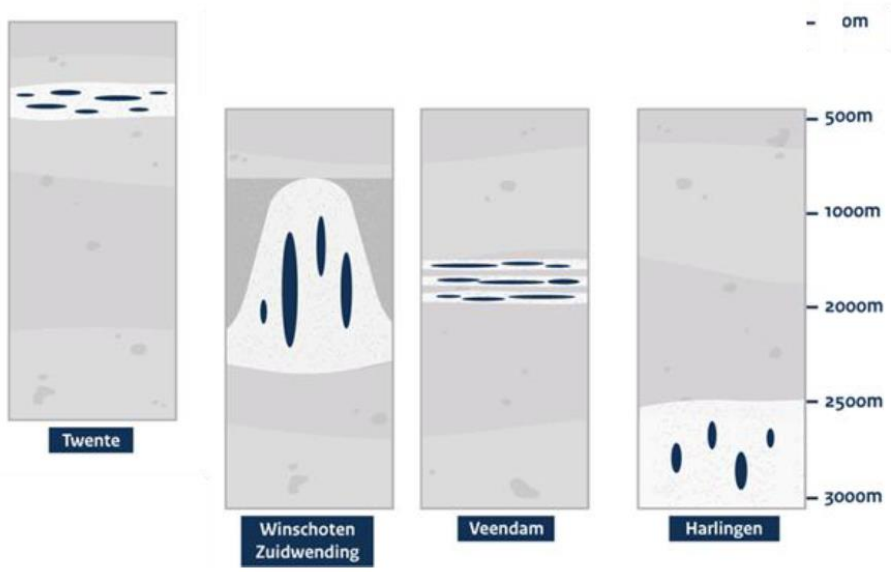
Afbakening van het onderzoek

1. De praktische haalbaarheid valt buiten het kader van deze studie
   - Stabiliteit van de caverne is niet onderzocht
   - Juridische aspecten (overdracht van eigenaarschap

   en verantwoordelijkheden, abandonering, verschil in wetgeving kleiner en groter dan 500 m diepte) niet onderzocht
2. Niet specifiek ingegaan op technische uitvoering zoals boringen en de bovengrondse faciliteiten
3. Aanname dat de benodigde technieken vergelijkbaar zijn met beschikbare technieken voor de winning van pekel
4. Effect van pekelwater op apparatuur niet onderzocht
5. Technische haalbaarheid van het gebruik van de werkmiddelen is niet onderzocht

Zoutcavernes in Nederland

- Dikke zoutlagen aanwezig:
  - Noord-Nederland
  - Oost-Nederland
- Door winning van zout van oplosmijnbouw, zijn er ruimtes ontstaan met overgebleven pekel → zoutcavernes
- Hergebruik van deze cavernes worden overwogen, vnl. voor opslag
  - Opslag van gas of olie
  - Opslag van perslucht
  - Opslag van waterstof
- Opslag van warmte is minder vaak onderzocht
- Diepte, vorm en volume variëren per locatie
- In deze studie worden een ondiepe en een diepe caverne gesimuleerd in een model



Bron: SodM

	Gemiddelde diepte (m)	Gemiddelde T (°C)	Volume (m^3)
Ondiepe situatie	450	24	200.000
Diepe situatie	2.250	80	500.000

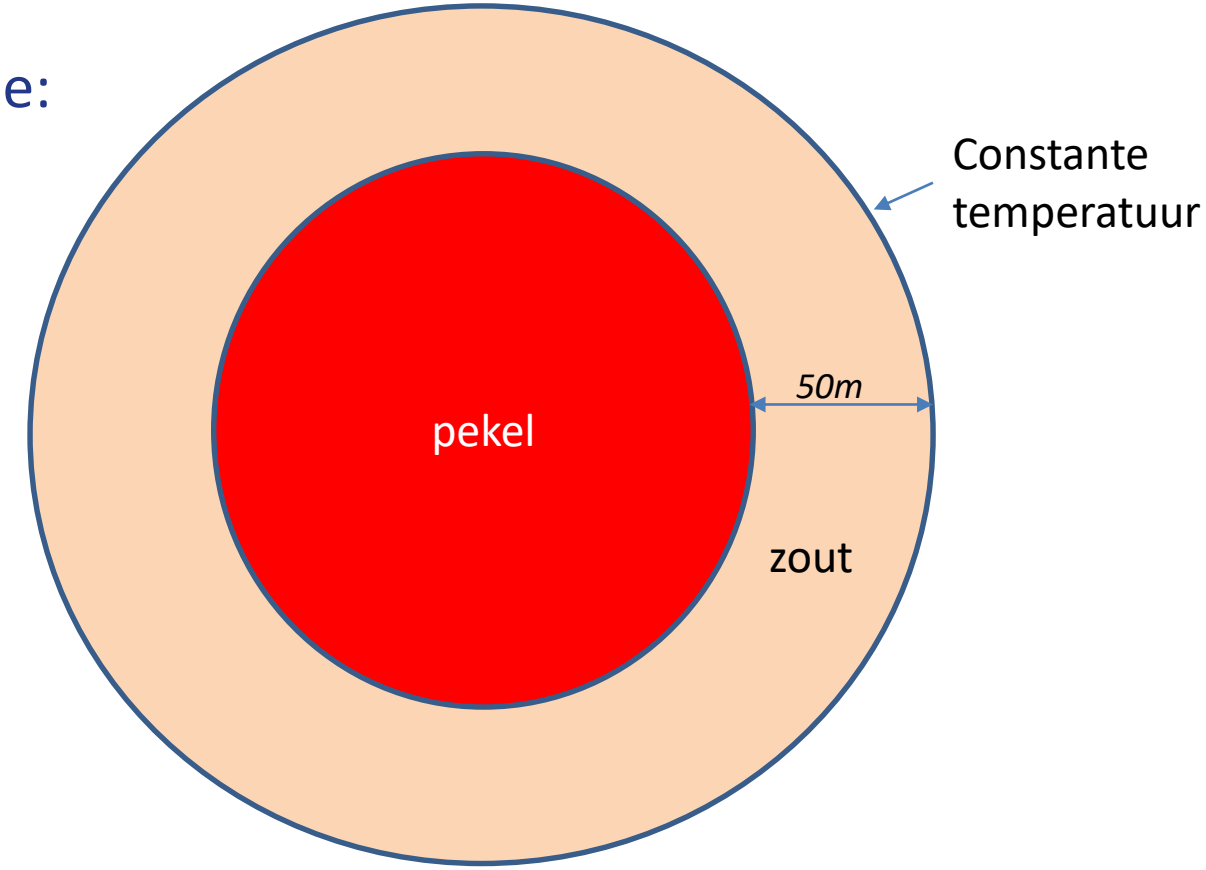
Winning van aardwarmte

(Onttrekking van warmte)

Winning van aardwarmte

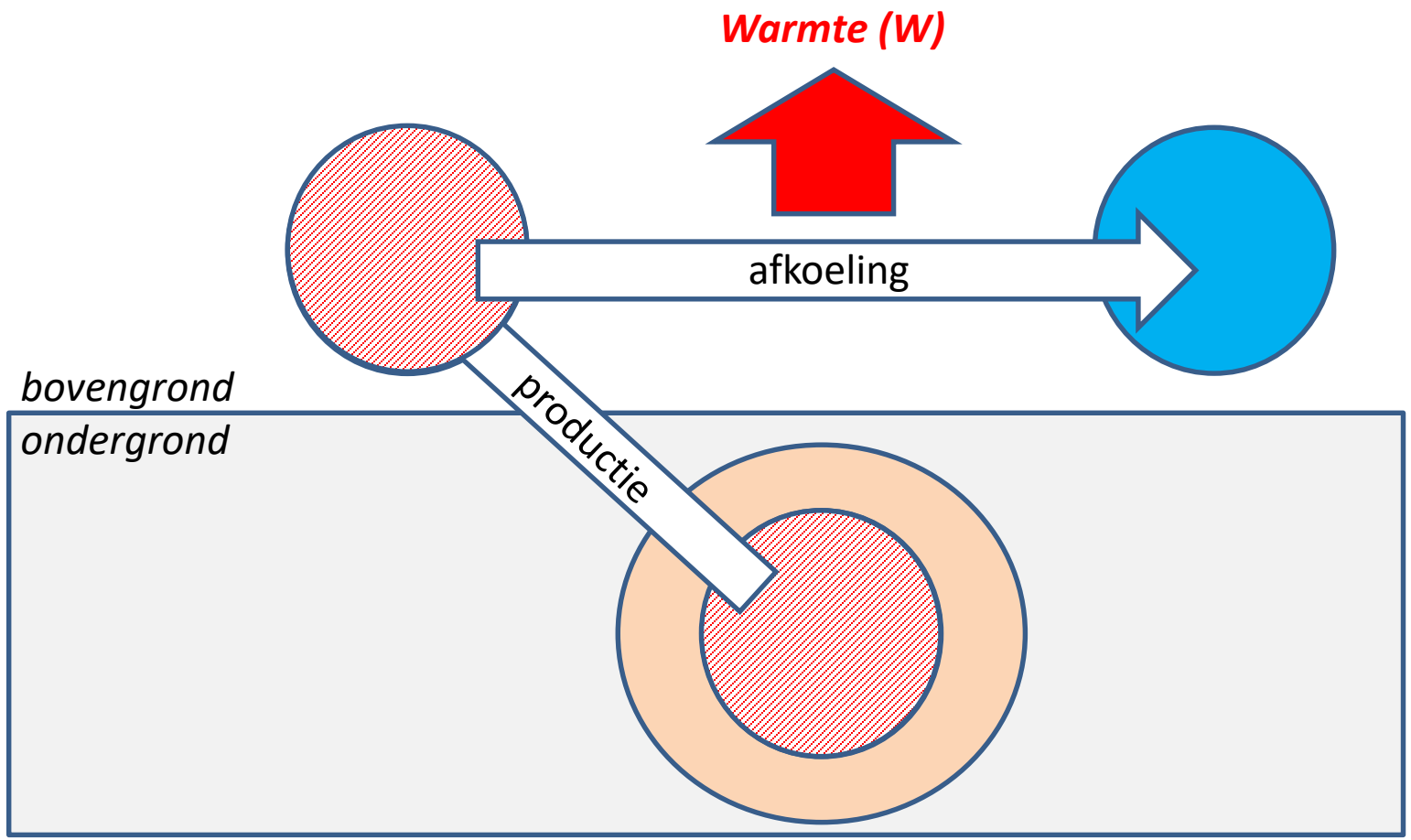
- Bij het gebruik van de cavernes voor de winning van aardwarmte gaat het om de onttrekking van de warmte uit de pekel, waarna deze wordt teruggebracht in de caverne om opnieuw op te warmen

- Bolvormig model van de caverne:



Onttrekking van warmte

Stap 1: bepaling van potentieel aan warmte uit het volume van de caverne



Aannames uitkoeling:

Diep tot 40°C

Ondiep tot 15°C

Theoretische potentie warmteonttrekking

(1/3)

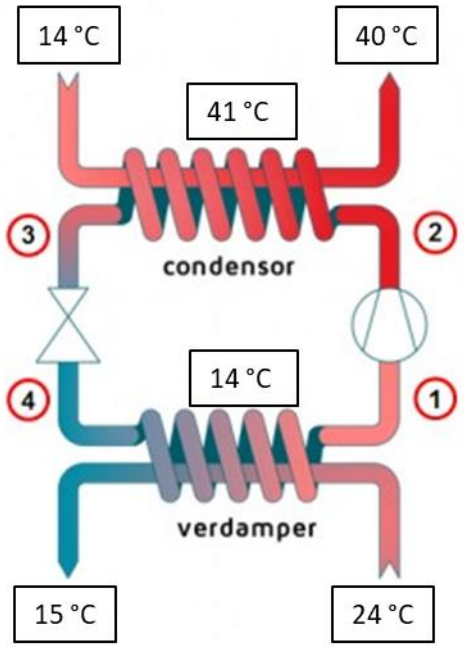
	Vloeistof (werkmiddel)	Warmtecapaciteit [kJ/kg*°C]	ΔT [°C]	Maximaal potentieel te onttrekken warmte [TJ]
Ondiepe situatie	Zoet water	4,2	9	7,5
	Pekel	3,2	9	**6,8**
	Glycerol	2,4	9	5,4
	Ammoniak (20 bar)	4,9	9	6,3
Diepe situatie	Zoet water	4,2	40	83,8
	Pekel	3,2	40	**75,9**
	Glycerol	2,4	40	60,5
	Ammoniak (20 bar)	4,9	40	70,3

Diepe caverne heeft groter potentieel door groter volume en grotere ΔT

Theoretische potentie warmteonttrekking

(2/3)

- Diepe caverne kan leveren aan 70/40 warmtenet
- Ondiepe caverne kan leveren aan 40/20 warmtenet, maar temperatuur water moet worden opgewaardeerd door warmtepomp
  - Warmtepomp levert extra warmte door conversie van elektriciteit



Systeem COP is 5,8

Theoretische potentie warmteonttrekking

(3/3)

	Vloeistof (werkmiddel)	ΔT [°C]	Maximaal potentieel te onttrekken warmte [TJ]	Maximaal toe te voegen door warmtepomp [TJ]	Totaal nuttige warmte potentieel [TJ]
Ondiepe situatie	Zoet water	9	7,5	1,5	9,1
	Pekel	9	6,8	1,4	**8,2**
	Glycerol	9	5,4	1,1	6,5
	Ammoniak (20 bar)	9	6,3	1,3	7,6
Diepe situatie	Zoet water	40	83,8	n.v.t.	83,8
	Pekel	40	75,9	n.v.t.	**75,9**
	Glycerol	40	60,5	n.v.t.	60,5
	Ammoniak (20 bar)	40	70,3	n.v.t.	70,3

- Voor de diepe situatie is het maximaal potentieel 76 TJ voor pekel
  - Gelijk aan het jaarverbruik van 1.800 woningen
- Voor de ondiepe situatie gaat het om 8 TJ voor pekel
  - Gelijk aan het jaarverbruik van 190 woningen

Onttrekking van warmte

Stap 2: bepaling van minimale en maximale tijd en debiet

De productie uit de caverne is gelimiteerd door:

- De capaciteit van de put
- Het volume van de caverne

Bij een heel hoog debiet onttrek je heel snel de warmte uit de caverne

- Relatief hoog vermogen

Bij een lager debiet duurt het langer om de warmte te onttrekken

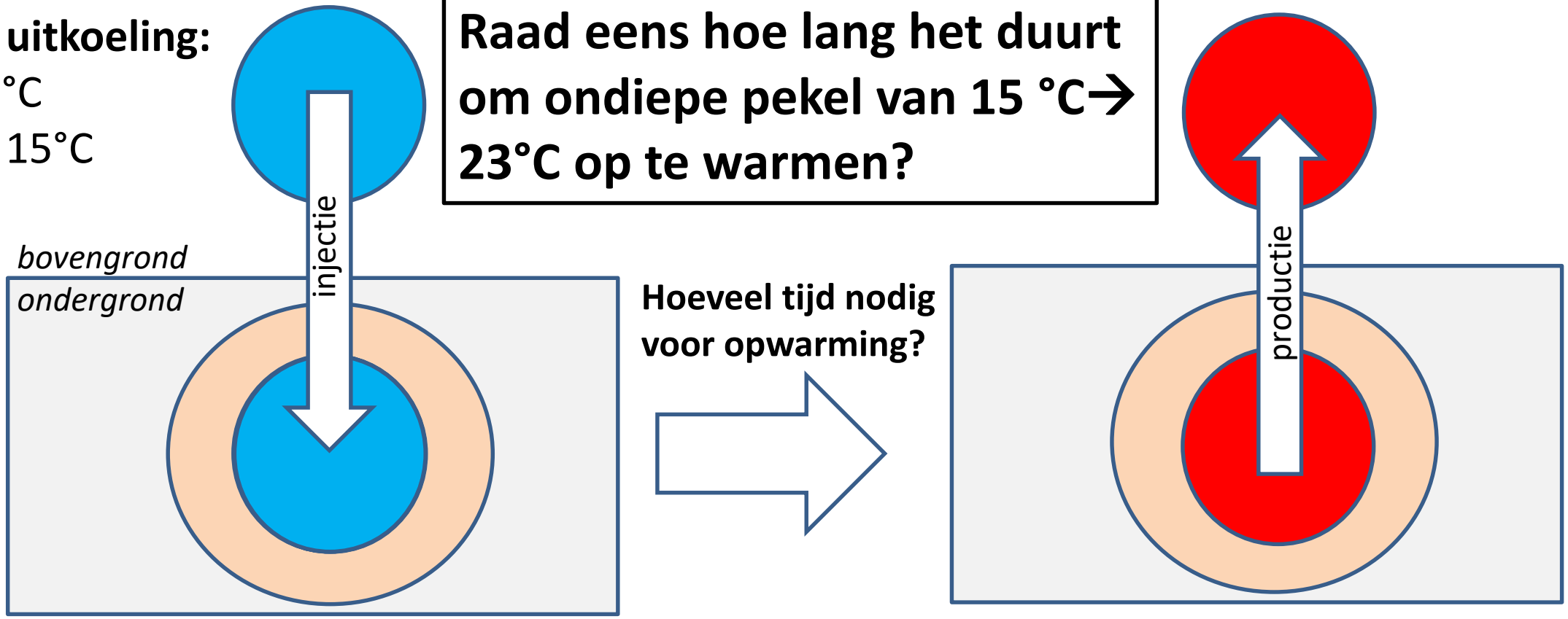
- Relatief laag vermogen (750 kW is het minimale vermogen dat we interessant achten)

Onttrekking van warmte

Stap 3: Valt de benodigde tijd voor opwarming binnen de minimale en maximale verblijftijd van de afgekoelde pekel in de caverne? (1/2)

Voor publiek:
Raad eens hoe lang het duurt om ondiepe pekel van 15 °C→ 23°C op te warmen?

Aannames uitkoeling:
Diep tot 40°C
Ondiep tot 15°C

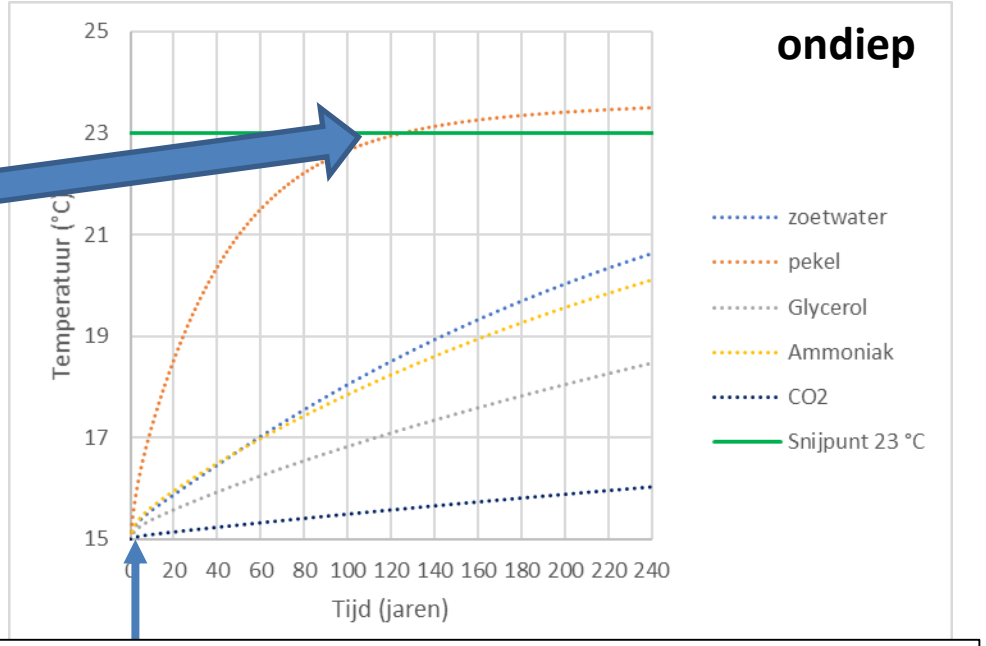


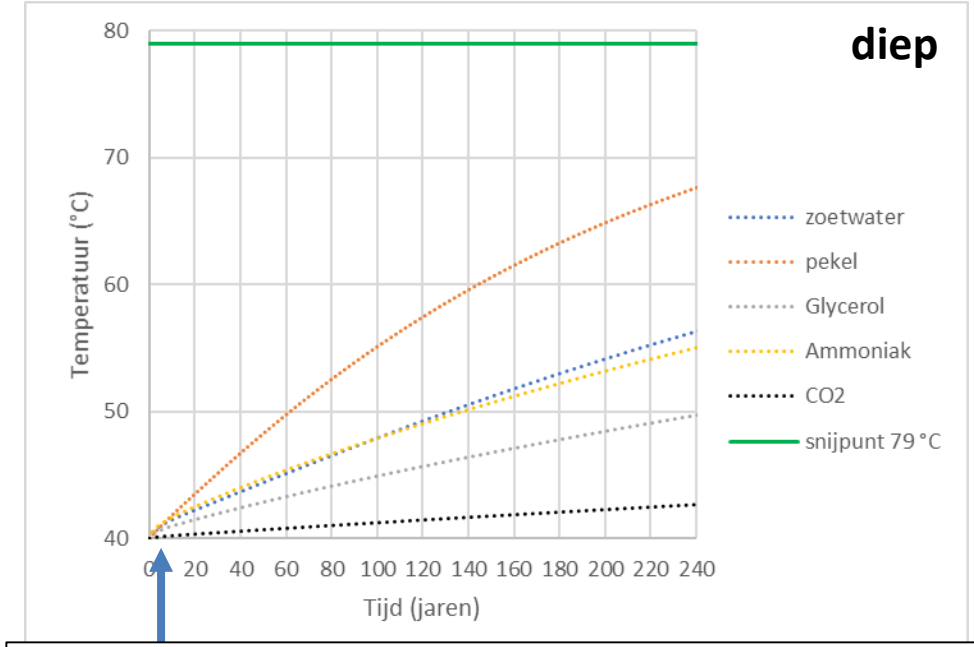
Onttrekking van warmte

Stap 3: Valt de benodigde tijd voor opwarming binnen de minimale en maximale verblijftijd van de afgekoelde pekel in de caverne? (2/2)

- De benodigde verblijftijd voor opwarming is vele malen langer dan de maximale circulatie tijd voor behalen minimaal vermogen
  - Warmteoverdracht enkel door conductie
  - Opwarming sneller door convectie, maar niet dusdanig om tot een andere conclusie te komen

120 jaar





Maximale tijd voor minimaal vermogen van 750 kW

Maximale tijd voor minimaal vermogen van 750 kW

Onttrekking van warmte

Opwarming van pekel na her-injectie heeft een lange verblijftijd

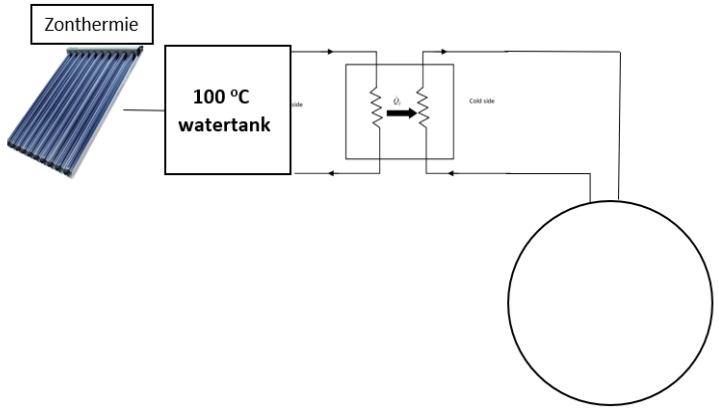
- **Lage warmteoverdracht naar de caverne → lage warmteoverdracht uit de caverne**
- **Potentie voor warmteopslag → kijken naar warmteopslag**

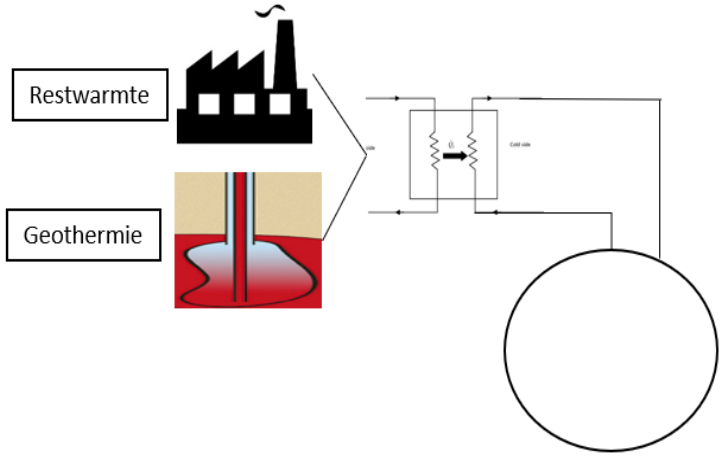
Opslag van warmte

Opslag van warmte

Opslag systeem is gebaseerd op onttrekking van warmte in winter en opslag van warmte in zomer

- Potentieel warmte onttrekking in de winter:
  - Diep: 66.000 GJ (1.550 huishoudens)
    - Levering op 70/40 warmtenet, uitkoeling tot 40 C
  - Ondiep: 19.000 GJ (450 huishoudens)
    - Levering op 40/20 warmtenet, uitkoeling tot 20 C
- <u>Voldoende potentie voor warmteopslag in zowel ondiepe als diepe caverne, mits voldoende warmtelevering in zomer door externe bron</u>
- Bronnen voor restwarmte in de zomer
  - Industrie
  - Elektriciteitsoverschotten
  - Geothermie
  - Zonthermie

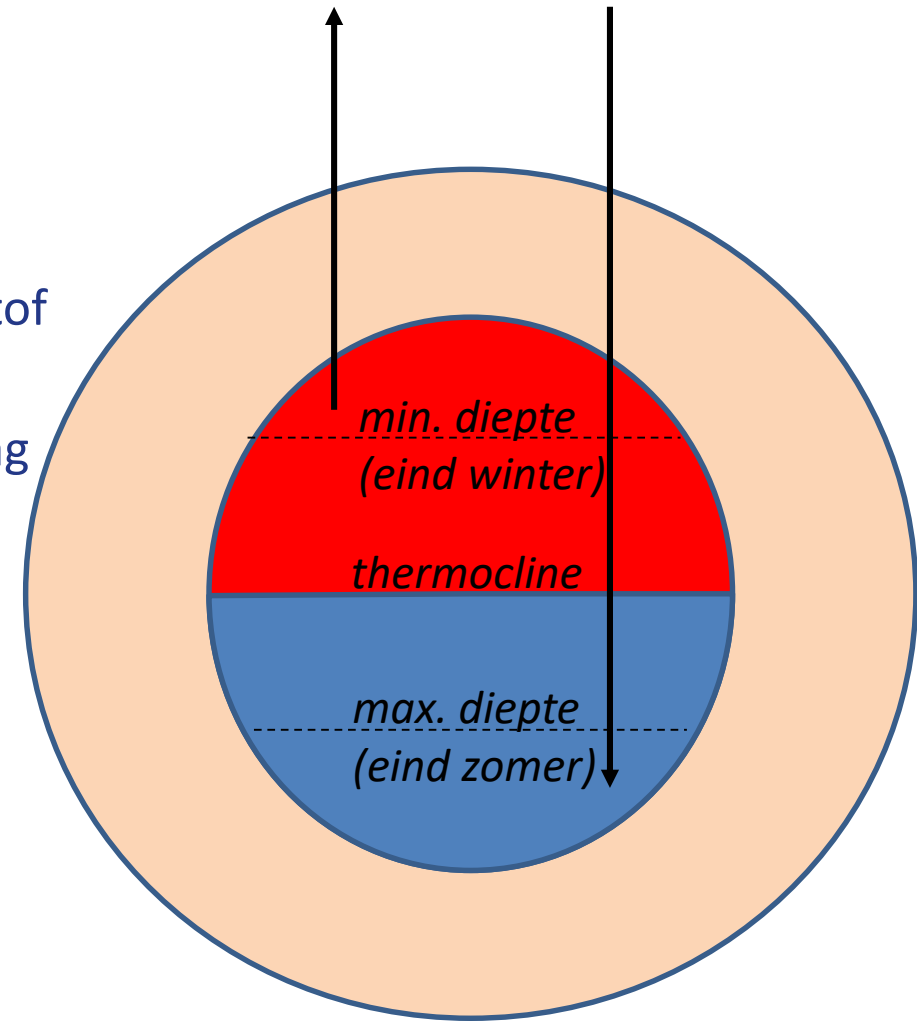




Warmteopslag systemen

Aanname voor opslag systeem → **thermocline** in de caverne aanwezig

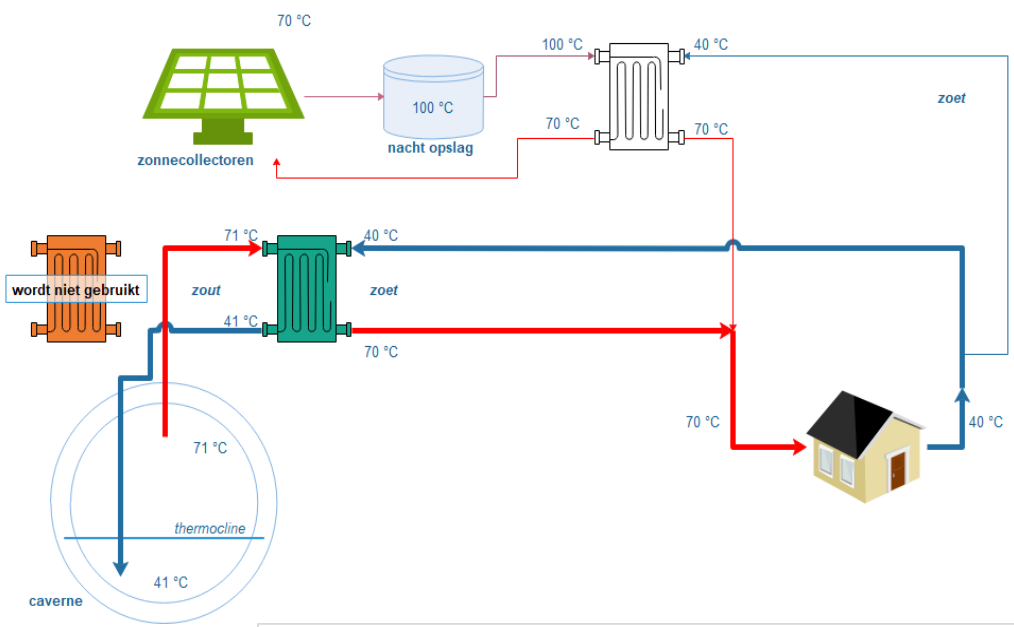
- Thermocline is een scherpe temperatuur overgang in vloeistof in de caverne
- Concept is onderzocht in 1980 in de VS voor dag/nacht opslag in caverne waar kiezels zorgen voor stabiliteit zoutcaverne
- Thermocline gaat dan omhoog of omlaag, afhankelijk van de opslag/onttrekkingsperiode
- Thermocline blijft boven de mond van injectieput en onder mond van productieput



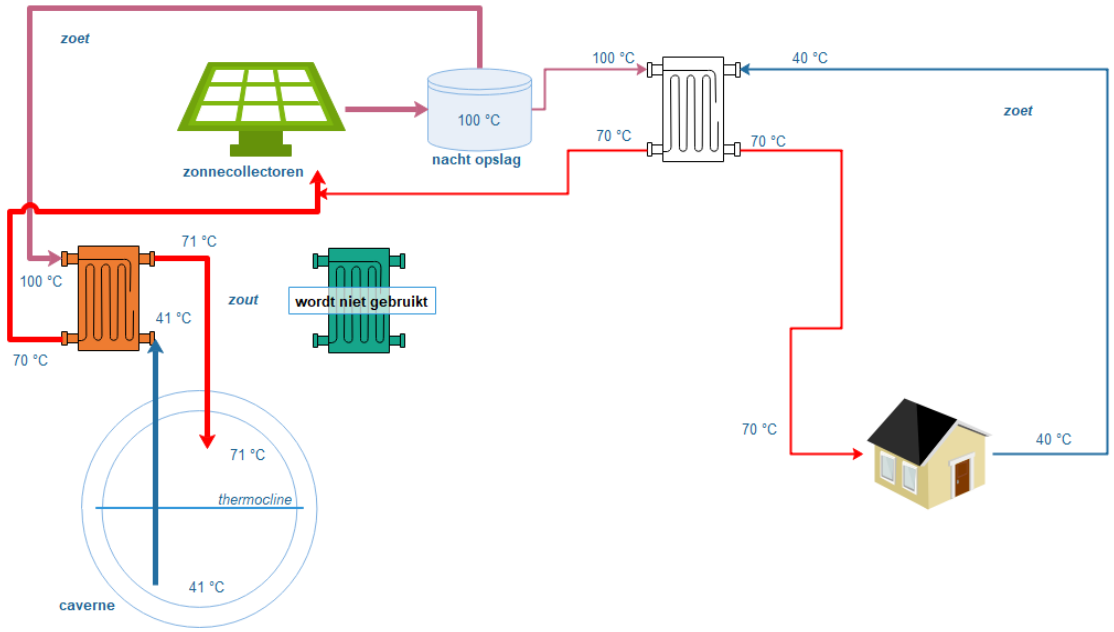
- Vier systemen geëvalueerd:
  - enkele diepe caverne, zonthermie
  - enkele ondiepe caverne, zonthermie
  - dubbele ondiepe caverne, zonthermie
  - dubbele ondiepe caverne, restwarmte

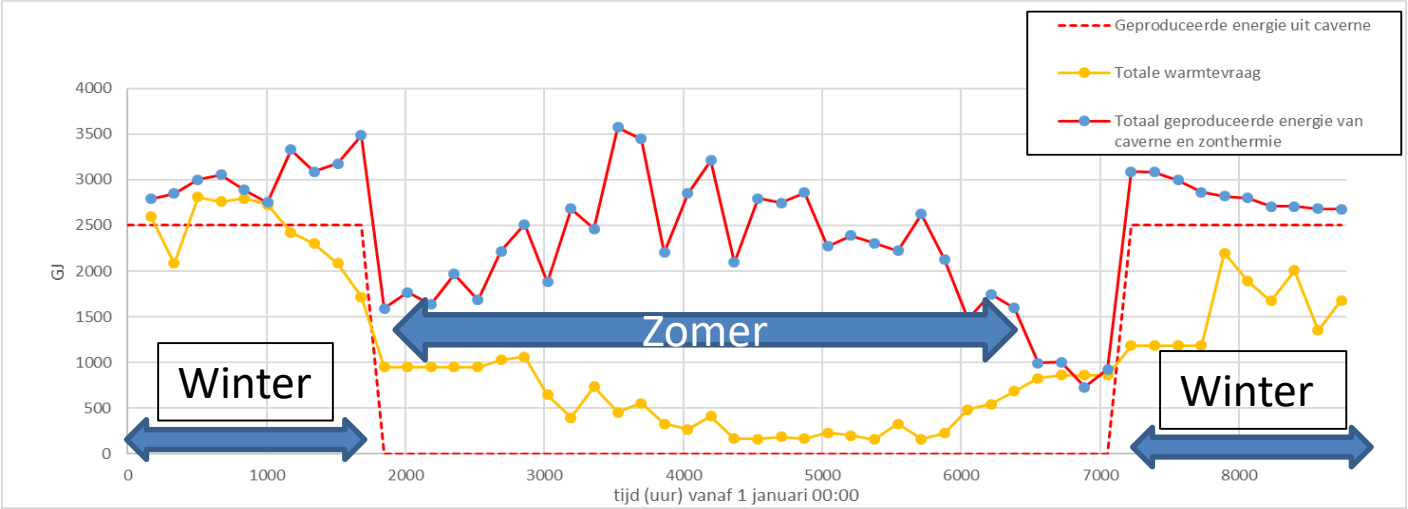
Systeemkeuze enkele diepe caverne

Winter: productie
(warmtevoorziening primair uit caverne met aanvulling vanuit zonthermie)



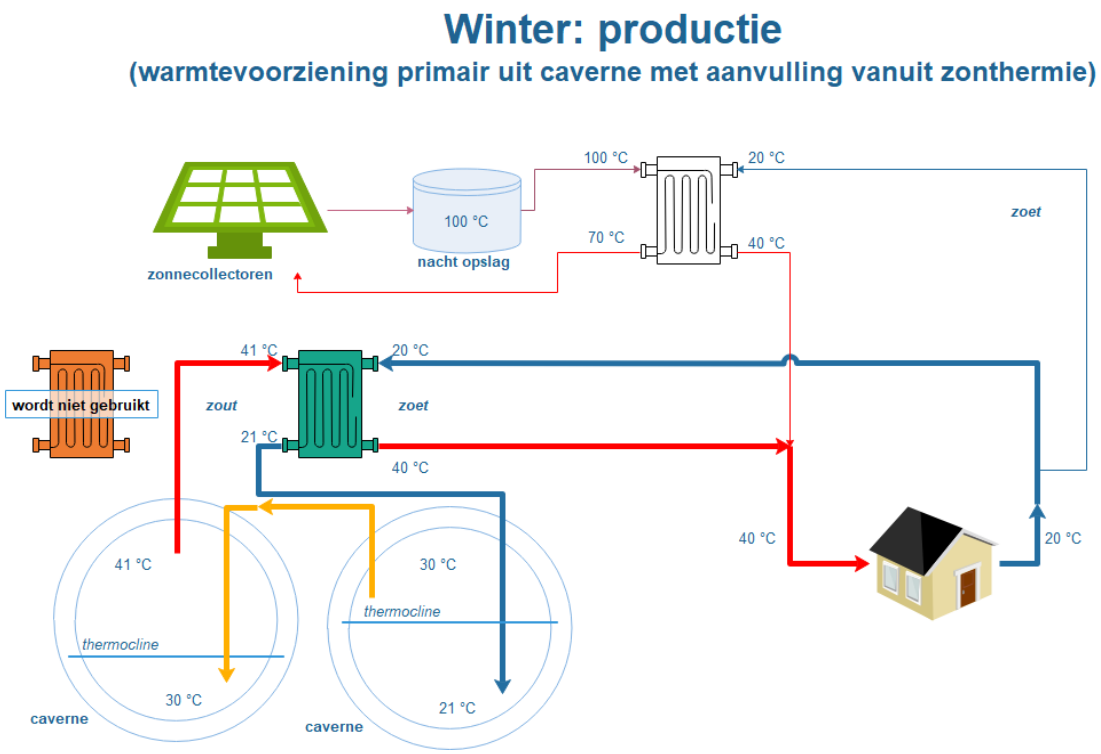
Zomer: opslag
(warmtevoorziening vanuit zonthermie)



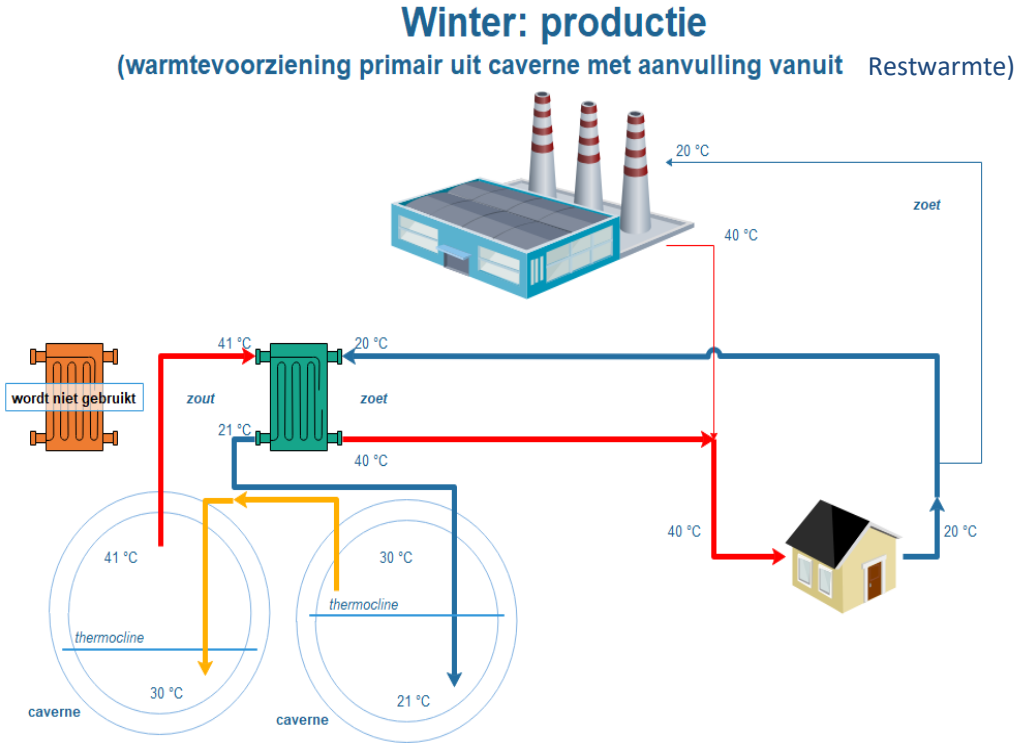


Systeemkeuzes ondiepe systemen

Dubbele ondiepe caverne met zonthermie als bron



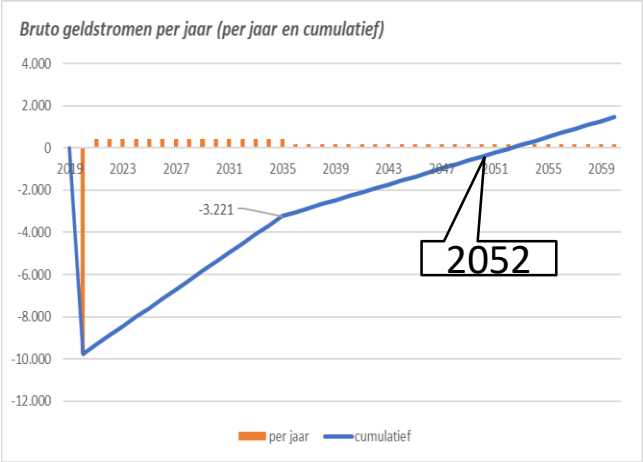
Dubbele ondiepe caverne met restwarmte als bron



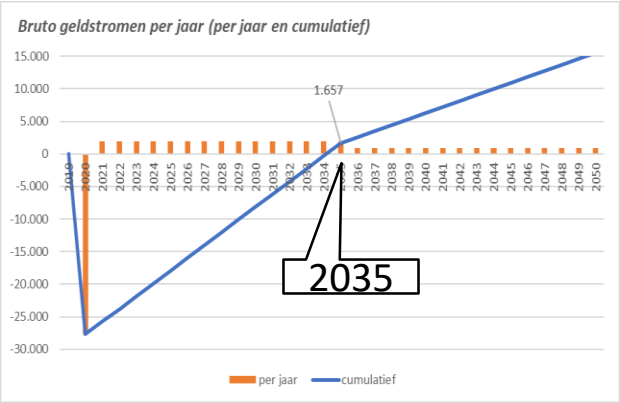
Meegenomen kosten in evaluatie: hoofdleiding, aansluitingen divers, aansluiting woningen, warmtewisselaars, pompen, filters en overig, zonnecollectoren, tankopslag, putkosten

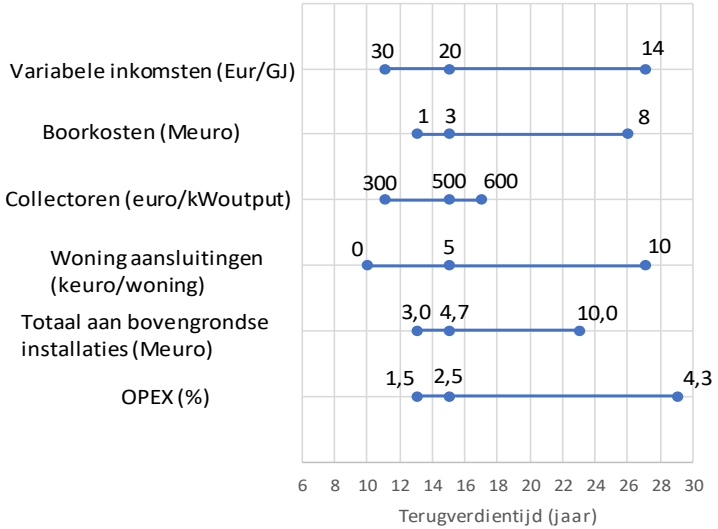
Terugverdientijden van systemen

Enkele ondiepe caverne (Zonthermie)

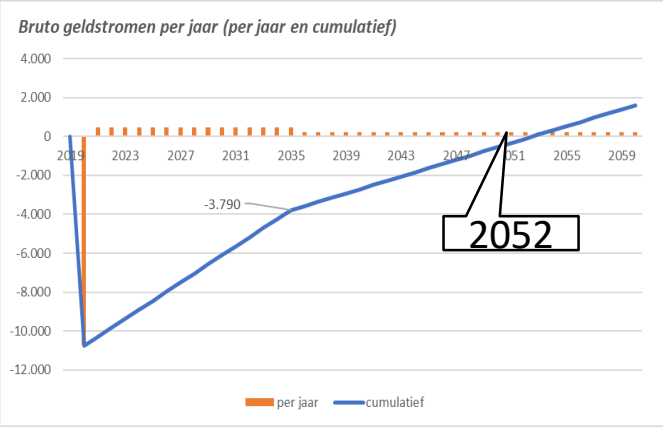


Enkele diepe caverne (Zonthermie)

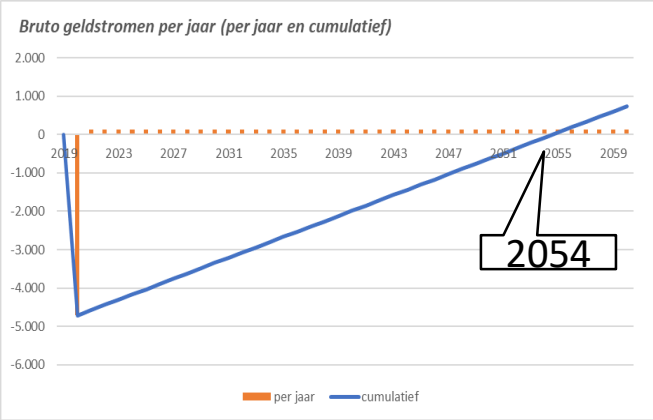


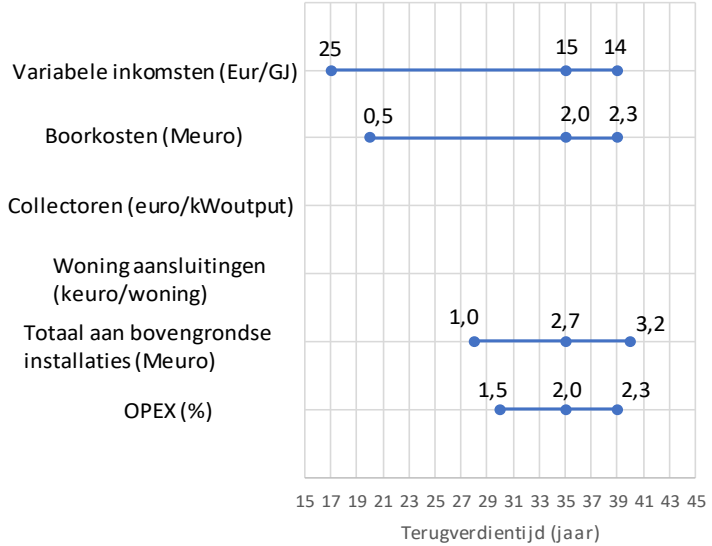


Dubbele ondiepe caverne (Zonthermie)



Dubbele ondiepe caverne (Restwarmte industrie)





Conclusies

- Volume van de cavernes is groot genoeg voor collectieve warmtetoepassingen
- Winning van warmte uit de caverne niet haalbaar wegens (te) lange opwarmingstijd na her-injectie
- Toepassing van andere werkmiddelen dan pekel niet interessant
- Opslag van warmte in diepe caverne interessant
  - Eerste indicatie geeft mogelijke terugverdientijd van 10-15 jaar
  - Opslag van warmte in ondiepe caverne minder interessant

Aanbevelingen

- Vervolgonderzoek naar praktische haalbaarheid van het systeem
- Een inventarisatie van mening en belangstelling van stakeholders
- Onderzoek naar stabiliteit cavernes
- Onderzoek naar invloed van geometrie (bijv. sigaarvorm)
- Neem mogelijkheid voor hergebruik mee in ontwerpfase van de caverne
  - Denken aan 2^{e} leven voor zoutcaverne na zoutproductie