

Haalbaarheid Zonnewarmte en MTO in Everdingen

Haalbaarheidsstudie en business case zonnewarmte Everdingen





Vereniging voor
Zonnekracht
Centrales

escoplan™



Datum 30 april 2025

Referentie PR10686/ME/30042025

Betreft Haalbaarheidsstudie en business case zonnewarmte Everdingen

Behandeld door Karla Gloudemans

Menno Esmeijer

Christiaan Bartels

Sietse de Haan

Mieke Weterings

Gecontroleerd door R. Kleinlugtenbelt

Versienummer 1.1

OPDRACHTGEVER

Energiecoöperatie Huibertstroom UA

Graaf Florisstraat 4b

4121 EL Everdingen

T 06 4185 9301

bestuur@huibertstroom.nl

Contactpersonen: Peter ten Have

ADVISEUR BODEMENERGIE

IF Technology BV

Postbus 605

6800 AP Arnhem

Contactpersoon: dhr M. Esmeijer

T: +31 (0)6 2540 7734

E: m.esmeijer@iftechnology.nl

ADVISEUR ZONTHERMIE

Escoplan BV

Bezoekadres: Mozartlaan 25 K

1217 CM Hilversum

Contactpersoon: dhr C. Bartels

T: +31 (0)6 8334 0770

E: c.bartels@escoplan.nl

INHOUDSOPGAVE

Begrippenlijst	4
1 Inleiding	6
1.1 Achtergrond	6
1.2 Energieconcept	6
1.3 Quickscan	7
1.4 Leeswijzer	7
2 Technische haalbaarheid	8
2.1 Inventarisatie warmtevraag	8
2.2 Geohydrologisch onderzoek	9
2.3 Zonnewarmte onderzoek	9
2.4 Conclusie	9
3 Energieconcept en -analyses	10
3.1 Energieconcept	10
3.2 Warmtevraag, warmtenet en warmteproductie	12
3.3 MTO-installatie	14
3.4 Zonnewarmte installatie	18
4 Financiële haalbaarheid	21
4.1 Uitgangspunten	21
4.2 CAPEX	21
4.3 OPEX	23
4.4 Opbrengsten	25
4.5 Conclusie	25
4.6 Subsidies	27
5 Afweging energieconcepten	29
5.1 Afwegingskader	29
5.2 Risico's en aandachtspunten	30
5.3 Conclusie	30
6 Conclusies en aanbevelingen	31
6.1 Conclusies	31
6.2 Aanbevelingen	32
Bijlage 1 Quickscan MTO	34
Bijlage 2 Quickscan Zonnewarmte	38
Bijlage 3 Quickscan Bodem	43
Bijlage 4 Zonnewarmte beschrijving	54
Bijlage 5 Technische uitgangspunten	63
Bijlage 6 Technische resultaten	64
Bijlage 7 Zonnewarmte resultaten	66
Bijlage 8 Biodiversiteit	84
Bijlage 9 Financiële uitgangspunten	92
Bijlage 10 Principeschema's	95

Begrippenlijst

Afkortingen & begrippen	Uitleg
CAPEX (Capital Expenditure)	Investeringskosten voor aanschaf en installatie van systemen.
CO ₂ (Koolstofdioxide)	Broeikasgas dat bij verbranding van fossiele brandstoffen vrijkomt.
COP (Coefficient of Performance)	Rendement van een warmtepomp; verhouding tussen geleverde warmte en verbruikte energie.
CPC (Compound Parabolic Concentrator)	Een type zonnecollector met spiegels die zonlicht concentreren op een buis, waardoor meer warmte wordt opgewekt, ook bij lage zonnestand.
Debiet	De hoeveelheid vloeistof (meestal water) die per seconde of per uur door een leiding stroomt, uitgedrukt in m ³ /s of m ³ /uur.
Droge Koeler	Luchtgekoeld apparaat voor warmteafvoer zonder waterverbruik.
Geothermie	Warmte uit de diepe aardbodem voor duurzame energievoorziening.
GJ (Gigajoule)	Energie-eenheid, 1 GJ = 277,8 kWh.
HT (Hoge Temperatuur)	Warmtesystemen met temperaturen boven de 80°C.
HTO	(Hoge Temperatuur Opslag) - Warmteopslag bij hoge temperaturen.
kW	(Kilowatt) - Eenheid voor vermogen, 1 kW = 1000 watt.
kWh	(Kilowattuur) - Eenheid voor energieverbruik, 1 kWh = 1000 watt per uur.
LWWP (Lucht-/waterwarmtepomp)	Warmtepomp die warmte uit de lucht haalt en afgeeft aan water voor verwarming.
LT (Lage Temperatuur)	Warmtesystemen met temperaturen tussen 30-55°C.
MTO (Midden Temperatuur Opslag)	Warmteopslag op midden temperaturen (55-80°C) in de bodem.
MT (Midden Temperatuur)	Warmtesystemen met temperaturen tussen 55-80°C.
MWh (Megawattuur)	Eenheid van energieverbruik, 1 MWh = 1000 kWh.
O&M (Operations & Maintenance)	Beheer en onderhoud van installaties.
Onrendabele top	Het deel van een investering dat niet kan worden terugverdiend uit de opbrengsten en daarom een financiële tekort vormt.
OPEX (Operational Expenditure)	Operationele kosten zoals onderhoud en energieverbruik.
PV (Photo Voltaïsch)	Zonnepanelen die zonlicht omzetten in elektriciteit.
PVT (Photo Voltaïsch Thermisch)	Combinatie van PV en zonnecollector voor elektriciteit en warmte.
SPF (Seasonal Performance Factor)	De gemiddelde seizoensgebonden efficiëntie van een warmtepomp, uitgedrukt als de verhouding tussen geleverde warmte en verbruikte elektriciteit.
SDE++ (Stimulering Duurzame Energieproductie en Klimaattransitie)	Nederlandse subsidie voor duurzame energie.
TEO (Thermische Energie uit Oppervlaktewater)	Warmtewinning uit meren, rivieren en kanalen.
TNO (Nederlandse Organisatie voor Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek)	Onderzoeksinstituut op het gebied van technologie en innovatie.
WEQ (Woning equivalent)	Een eenheid die wordt gebruikt om de warmtebehoefte van een gebouw of gebied uit te drukken in vergelijking met de gemiddelde warmtebehoefte van een standaard woning.

WKO (Warmte Koude Opslag)	Systeem voor opslag en hergebruik van thermische energie in de bodem.
Zonthermie	Technologie waarbij zonlicht wordt omgezet in warmte, meestal via zonnecollectoren, voor bijvoorbeeld verwarming of warm tapwater.

1 Inleiding

1.1 ACHTERGROND

Energiecoöperatie Huibertstroom heeft zich o.a. ten doel gesteld om het energieverbruik in Everdingen te verduurzamen. Woningen verwarmen op een duurzame wijze draagt bij aan het beperken van klimaatverandering. Volgens het Klimaatakkoord moeten in 2050 zeven miljoen gebouwde woningen en 1 miljoen andere bestaande gebouwen van het aardgas af zijn. Als eerste stap moeten in 2030 de eerste 1,5 miljoen bestaande woningen verduurzaamd zijn. De woningen in Everdingen aansluiten op een collectief warmtenet is een passende oplossing voor deze uitdaging. Verschillende duurzame warmtebronnen kunnen het warmtenet van warmte voorzien; water, lucht en zon.

Het benutten van water als warmtebron noemen we aquathermie. Energiecoöperatie Huibertstroom heeft IF Technology gevraagd aquathermie te onderzoeken voor Everdingen. Het toepassen van thermische energie uit de nabijgelegen rivier de Lek (TEO, Thermische Energie uit Oppervlaktewater) in combinatie met een warmte en koudeopslagsysteem (WKO) is onderzocht in een voorgaand haalbaarheidsonderzoek (referentie: 70379/FN/20220405). De warmteoplossing bleek technisch haalbaar. Het ontwerp en de rendabiliteit zijn verder uitgewerkt in een verdiepende studie (referentie: PR09249/TV/20241101).

Een lucht-/waterwarmtepomp (LWVP) onttrekt warmte uit de buitenlucht zonder daarbij seizoensopslag nodig te hebben. Deze oplossing is technisch haalbaar in Everdingen, kent lage investeringskosten maar hogere operationele kosten door een lager rendement in koude maanden. De haalbaarheid van een collectieve LWVP is onderzocht in de voorgaande studies.

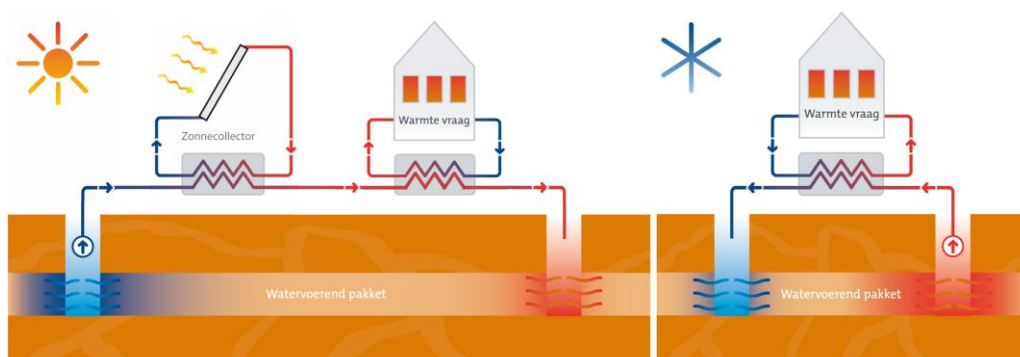
Zonnewarmte is de benutting van de energie van de zon in de vorm van warmte. In dit onderzoek, werken IF Technology en Escoplan samen om de haalbaarheid van zonnewarmte in combinatie met middelhoge temperatuur opslag (MTO) in Everdingen te bepalen. De Vereniging voor Zonnekrachtcentrales draagt hierin ook bij. Voor dit onderzoek is subsidie aangevraagd bij Betuwewind door de energiecoöperatie Huibertstroom.

De hoofdvraag is als volgt geformuleerd:

Hoe ziet de business case eruit van zonnewarmte met warmteopslag in de bodem ten opzichte van thermische energie uit oppervlaktewater (TEO) met warmte opslag in de bodem en een collectieve lucht-/waterwarmtepomp?

1.2 ENERGIECONCEPT

In Figuur 1.1 is de globale werking van zonnewarmte met MTO schematisch weergegeven. In de zomer wordt zonnewarmte gebruikt om in warm tapwater te voorzien en om warmte in de MTO op te slaan op 45°C. Warm tapwater wordt geleverd via het warmtenet op 75°C. Zonnewarmte kan deze hoge temperatuur bereiken zonder warmtepomp. In de winter wordt de opgeslagen warmte in de MTO gebruikt om de gebouwen te verwarmen en warm tapwater te leveren. Hierbij is wel een warmtepomp nodig om de gewenste temperaturen te behalen. De zonnecollectoren kunnen op zonnige dagen in de winter ook warmte leveren aan het warmtenet.



Figuur 1.1 | Vereenvoudigde weergaven van zonnewarmte met middelhoge temperatuur opslag (MTO).

MTO heeft een aantal belangrijke voordelen t.o.v. WKO. Ten eerste verbruikt de warmtepomp in combinatie met MTO minder elektriciteit dan in combinatie met WKO. Omdat de temperatuur van het grondwater in de MTO hoger is dan bij WKO (45°C i.p.v. 17°C), is minder energie nodig om de temperatuur te verhogen naar de gewenste 75°C. Het elektriciteitsverbruik in de winter ligt hierdoor lager. Dit draagt deels bij aan de oplossing voor de netcongestie-problematiek. Een probleem dat momenteel steeds groter wordt. Ten tweede is de energiedichtheid van MTO ook hoger dan bij WKO, doordat hogere temperaturen worden opgeslagen. Dit zorgt ervoor dat de bronnen van de MTO dichter op elkaar kunnen staan dan bij WKO. In drukke gebieden zorgt dit voor betere inpas mogelijkheden. In dit project is dit echter minder relevant.

1.3 QUICKSCAN

Het energieconcept is als eerste stap hoog over beschouwd in een QuickScan. Deze bestaat uit kwalitatieve antwoorden op de vragen aangeleverd door de energiecoöperatie Huibertstroom. IF Technology heeft de QuickScan uitgevoerd voor MTO (zie Bijlage 1). Escoplan heeft de QuickScan uitgevoerd voor zonnewarmte (zie Bijlage 2). Antwoorden leveren we op basis van expert judgement van onze adviseurs en specialisten.

1.4 LEESWIJZER

We hebben gekozen voor een pragmatische schrijfwijze. In dit onderzoek vindt u daarom verwijzingen naar de voorgaande haalbaarheidsstudie, voorgaande verdiepende studie en bijlages. Dit rapport is als volgt gestructureerd:

- In hoofdstuk 2 geven wij uitleg over de technische haalbaarheid.
- In hoofdstuk 3 wordt het energieconcept en bijhorende analyses in detail beschreven.
- In hoofdstuk 4 wordt de financiële haalbaarheid van het energieconcept beschreven.
- In hoofdstuk 5 wordt ingegaan op de afweging en keuze van een definitief energieconcept.
- In hoofdstuk 6 geven wij de belangrijkste conclusies en aanbevelingen.

De onderbouwing van en extra informatie over de resultaten, kaarten en kentallen gepresenteerd in dit rapport zijn te vinden in bijlages 1 t/m 3 (Quickscans voor MTO, zonnewarmte en de bodem), 4 (beschrijving zonnewarmte), 5 en 6 (gebruikte kentallen en resultaten energieconcept) en 7 (technische resultaten zonnewarmte). In bijlages 8 t/m 10 wordt een toelichting gegeven op de biodiversiteit, zijn de financiële kengetallen uiteengezet en tot slot zijn de principeschema's weergegeven met een korte uitleg.

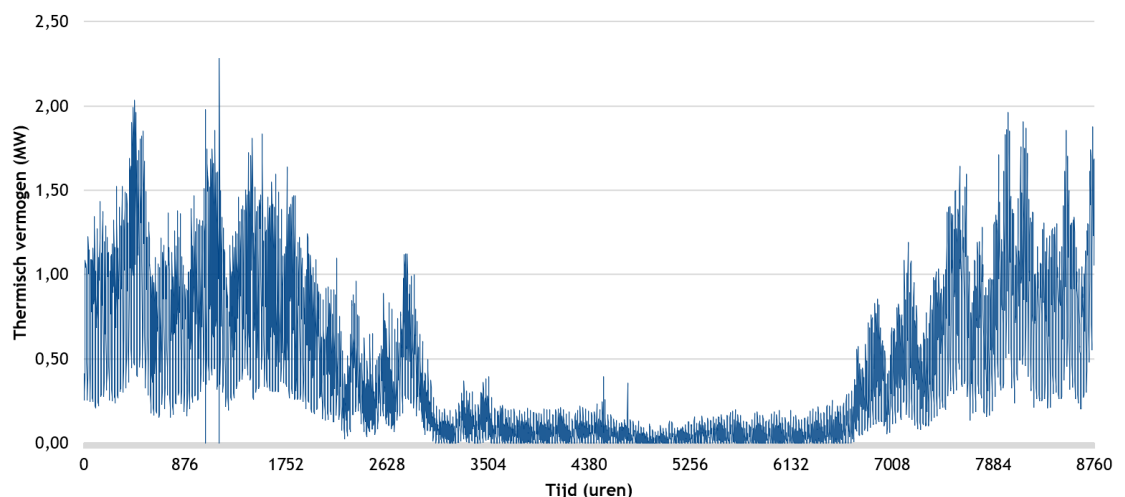
2 Technische haalbaarheid

In dit hoofdstuk is de technische haalbaarheid onderzocht voor een zonnewarmte installatie met MTO-systeem in Everdingen. In paragraaf 2.1 is de warmtevraag geïnventariseerd. In paragraaf 2.2 is de bodemgeschiktheid in Everdingen onderzocht voor MTO. In paragraaf 2.3 is zonnewarmte onderzocht. Het hoofdstuk is afgesloten met een conclusie in paragraaf 2.4.

2.1 INVENTARISATIE WARMTEVRAAG

De warmtevraag is onderzocht in zowel de aquathermie als de verdiepende studie. Uitwerkingen zullen hier niet worden herhaald, enkel de belangrijkste resultaten. De focus ligt op de huizen in de kern van Everdingen. Hier is de warmtevraag dichtheid voldoende voor een collectief systeem. Er is aangenomen dat alle panden met 70°C verwarmd kunnen worden. Aangezien een deel van de woningen een energielabel lager dan D heeft, moeten hoogstwaarschijnlijk meerdere woningen eerst verduurzaamd worden voordat verwarmen met 70 °C mogelijk is. Een aansluitpercentage van 75% (binnen de kern van Everdingen) is gehanteerd.

De warmtevraag is weergegeven op uurbasis in Figuur 2.1. Het profiel is gebaseerd op een werkelijk geanonimiseerd profiel van een vergelijkbaar warmtenet in Nederland. De totale warmtebehoefte is 13.126 GJ/jaar (voor de aangesloten panden). Dit omvat 274 woningen (11.396 GJ/jaar) en 11 utiliteitspanden (1.730 GJ/jaar). De utiliteitspanden zijn in de business case meegenomen als normale woningen. Door het oppervlak van de utiliteit te delen door het gemiddelde woonoppervlak krijgen we het woningequivalent van de utiliteit.



Figuur 2.1 | Profiel warmtevraag kern van Everdingen.

De warmtevraag en aantal aansluitingen zijn van voldoende grootte om een collectief warmtenet te beschouwen. Zonnewarmte is geschikt voor een warmtevraag op 70°C aangezien zonnecollectoren op hogere temperaturen warmte kunnen produceren (>80°C).

2.2 GEOHYDROLOGISCH ONDERZOEK

Een eerste inschatting van de haalbaarheid van MTO in Everdingen is gemaakt. Daarbij is gekeken naar de bodemgeschiktheid voor deze toepassing en naar eventueel aanwezige restricties die vanuit het oogpunt van vergunningverlening kunnen gelden. Uitwerkingen van deze QuickScan zijn te vinden in Bijlage 3.

De conclusie van de Quickscan is dat de bodem in Everdingen geschikt lijkt voor het toepassen van MTO. Dit komt met name door de bruikbare afwisseling van zand- en kleilagen. Warmteopslag vindt plaats in de zandlagen. De kleilagen zorgen voor een goede afsluiting van de warmte en beperken effecten en warmteverliezen naar andere lagen. Er lijken geen “hoge risico’s” aanwezig te zijn die de toepassing van MTO uitsluiten.

Verschillende watervoerende pakketten zijn mogelijk geschikt voor MTO. Alle pakketten kennen echter ook aandachtspunten. Pakket Maasluis is aangehouden voor de business case aangezien de technische potentie het grootst lijkt in deze formatie. Het pakket kent echter ook aandachtspunten. Een voorkeur is dus op dit moment niet te bepalen. Daarvoor is meer detailinformatie nodig van de bodem en van het energiesysteem waar MTO aan gekoppeld wordt. We raden aan een proefboring uit te voeren in een vervolgstudie.

2.3 ZONNEWARMTE ONDERZOEK

Voor de zonnepwarmte worden verschillende collectortypen in beschouwing genomen voor de Quickscan, op basis van hun geschiktheid qua toepassing en temperatuurbereik. De collectortypes voor de Quickscan zijn als volgt:

- Vlakke plaat collector
- Vacuüm vlakke plaat collector
- Vacuümbuis collector met een reflector CPC (Compound Parabolic Concentrator)
- Parabolische trogspiegelcollector

Een uitgebreide beschrijving van de bovenstaande collectortypen is opgenomen in Bijlage 4. In de Quickscan worden de bovengenoemde collectortypen getoetst op zowel technische als financiële parameters, met als doel het meest kansrijke collectortype te selecteren voor de business case. De resultaten van deze Quickscan zijn te vinden in Bijlage 2. De conclusie van de Quickscan is dat zonnepwarmte technisch haalbaar is in combinatie met een MTO.

2.4 CONCLUSIE

Het energieconcept zonnepwarmte i.c.m. MTO lijkt technisch haalbaar. De warmtevraag en aantal aansluitingen zijn van voldoende grootte om een collectief warmtenet te beschouwen. De bodemgeschiktheid, juridische risico’s en zonnepwarmte mogelijkheden zijn op Quickscan niveau beschouwd. Hieruit zijn geen zaken naar boven gekomen die het energieconcept uitsluiten. Aangezien het project in de haalbaarheidsfase is, blijft er een zekere onzekerheid bestaan. Deze onzekerheid kan pas weggenomen worden in een latere fase.

3 Energieconcept en -analyses

In dit hoofdstuk zijn het energieconcept en de energetische analyses beschreven. Het energieconcept is toegelicht in paragraaf 3.1. Bijbehorende randvoorwaarden zoals de warmtevraag zijn behandeld in paragraaf 3.2. Met behulp van een inzetmodel is bepaald welke bronnen wanneer warmte leveren en opslaan om aan de totale warmtevraag te kunnen voldoen. Met deze energetische analyse is de MTO gedimensioneerd. Het inzetmodel en de resultaten worden toegelicht in paragraaf 3.3. Een aanvullende energetische analyse is uitgevoerd voor de dimensionering van de zonnewarmte installatie en het buffervat, zie paragraaf 3.4.

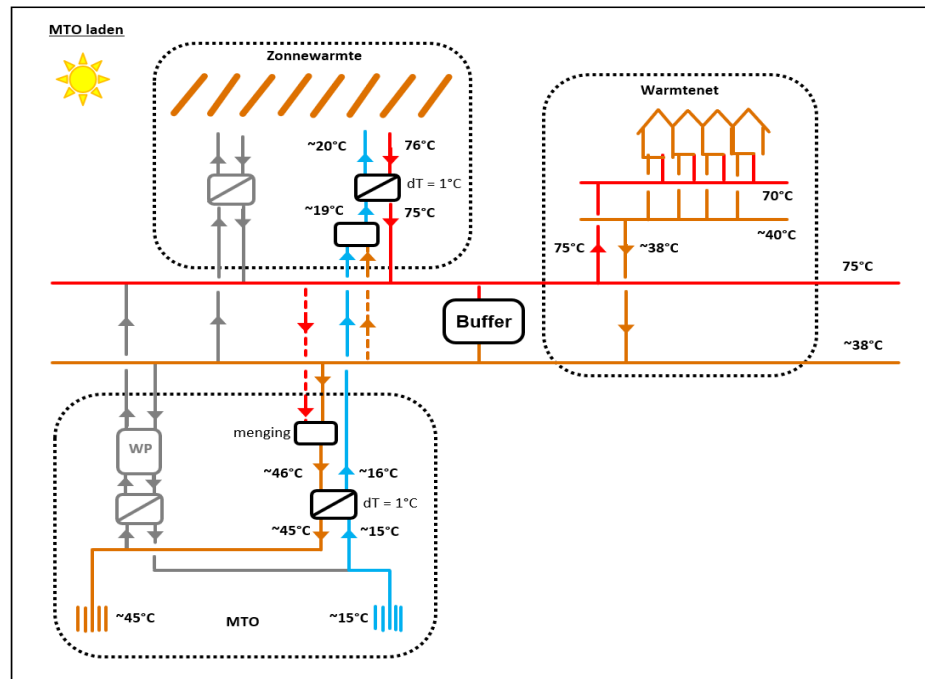
3.1 ENERGIECONCEPT

Er zijn in basis twee bedrijfssituaties, namelijk een zomersituatie en een wintersituatie. Een prinseschema voor de zomersituatie is weergegeven in Figuur 3.1. Een prinseschema voor de wintersituatie is weergegeven in Figuur 3.2. De temperaturen in de schema's zijn ter indicatie. De temperaturen zijn in de werkelijkheid variabel.

De vier hoofdcomponenten in het systeem zijn: de zonnewarmte installatie, de MTO-installatie, het warmtenet en de buffer. De zonnewarmte en MTO installatie zijn beide gekoppeld via een warmtewisselaar. Het glycolwatermengsel in de zonnecollectoren en het bronwater in de MTO mogen namelijk niet mengen met het water van het warmtenet. Aangezien het warmtenet relatief klein is (<300 aansluitingen), kan dit 'direct' aangesloten worden. Er is geen centraal warmteoverdrachtstation nodig. De buffer is een gelaagde buffer met meerdere aansluitingen. In dit onderzoek bepalen we de grootte van de buffer, maar verdere details over de aansluiting en ontwerp van de buffer zijn in deze fase nog niet van belang.

Zomersituatie

Het prinseschema voor MTO laden (Figuur 3.1) zal met name gelden tijdens de warmere maanden. Er is dan voldoende zonnewarmte beschikbaar. Het zonnewarmtesysteem produceert warmte op 75°C. Deze warmte wordt bewaard in de buffer en/of geleverd aan het warmtenet. Het warmtenet levert de gevraagde warmte aan de woningen op 70°C. De productietemperatuur van de zonnewarmte moet hoger zijn dan de gevraagde temperatuur om te compenseren voor het warmteverlies in het warmtenet. De retourtemperatuur is variabel en hangt af van de warmtevraag. Bij een kleinere warmtevraag, zal de retourtemperatuur hoger uit vallen. De retourwarmte stroomt richting de MTO en/of zonnewarmte installatie. De MTO wordt geladen met gemiddeld 45°C. Eventuele menging met warmte uit de zonnecollectoren is mogelijk om bij lage retourtemperaturen uit het warmtenet alsnog de MTO te kunnen laden op 45°C. De MTO laden met hogere temperaturen dan 45°C is nadelig, zoals is uitgelegd in Bijlage 1. Het water stroomt van de MTO door naar de zonnewarmte installatie. De lage temperatuur is gunstig voor het rendement van de zonnecollectoren. Wanneer niet al het retourwater van het warmtenet naar de MTO kan, moet het naar de zonnewarmte installatie. Dit is weergegeven met de oranje stippellijn in het schema.



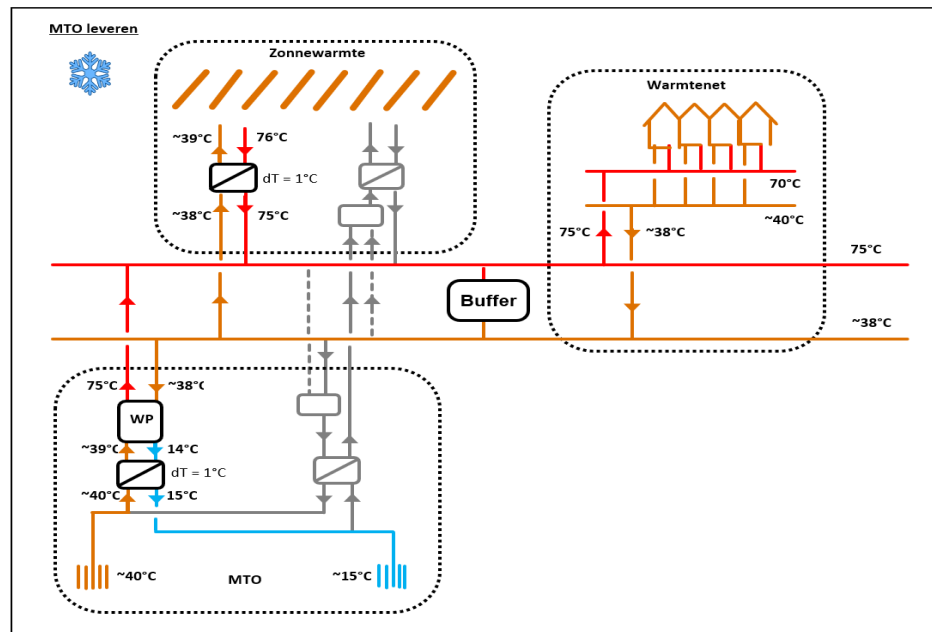
Figuur 3.1 | Principeschema collectief zonnewarmte en MTO-systeem voor de zomersituatie. Temperaturen ter indicatie.

De zonnewarmte i.c.m. de buffer wordt primair gebruikt om te voldoen aan de warmtevraag. Het laden van de MTO gebeurt enkel wanneer na warmtelevering nog zonnewarmte over blijft. De buffer wordt gebruikt om het warmtenet te voorzien van warmte op momenten dat er onvoldoende zonnewarmte beschikbaar is. Dit zal met name 's nachts het geval zijn. Wanneer de warmtevraag meerdere dagen laag is, wordt warmte uit het buffervat benut om de MTO te laden.

Wintersituatie

Het principeschema voor MTO leveren (Figuur 3.2) bevat dezelfde vier hoofdcomponenten als bij MTO laden. De MTO functioneert nu echter als warmtebron i.c.m. een warmtepomp. De MTO zal met name leveren tijdens de koudere maanden. De zonnewarmte installatie kan ook op koude dagen 75°C leveren, mits er voldoende zonlicht is. De geleverde warmte wordt opgeslagen in de buffer en/of geleverd aan het warmtenet. Retour van het warmtenet stroomt richting de buffer, MTO en/of zonnewarmte installatie.

Tussen 16:00 uur en 20:00 uur wordt de warmtepomp niet gebruikt om zo te voldoen aan de voorwaarde van de elektriciteitsaansluiting. Aangenomen is dat het gebruik van de warmtepomp in dit tijdsinterval leidt tot netcongestie. In de werkelijkheid kan het zijn dat de warmtepomp een deel van het tijdsinterval wel gebruikt kan worden. Aangezien hierover nog veel onduidelijkheid is, wordt de warmtepomp het hele tijdsinterval niet gebruikt. De MTO is daarom ook het hele tijdsinterval inactief. De zonnewarmte levert zonder warmtepomp en kan dus wel actief zijn. Hoogstwaarschijnlijk is er onvoldoende zonnewarmte beschikbaar om aan de warmtevraag te voldoen. De buffer zal het resterende deel van de warmtevraag moeten leveren. Het is daarom van belang dat de buffer voldoende opslagcapaciteit heeft. Ook zal de MTO met warmtepomp voldoende capaciteit moeten hebben om 's nachts warmte te kunnen leveren en om de buffer weer te vullen voor de volgende dag.



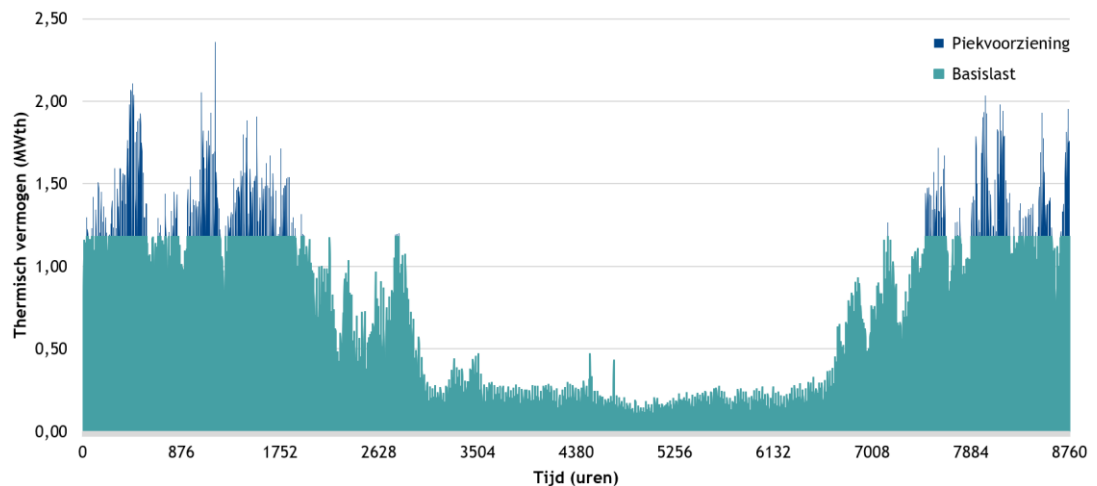
Figuur 3.2 | Principeschema collectief zonnewarmte en MTO-systeem voor de wintersituatie. Temperaturen ter indicatie.

3.2 WARMTEVRAAG, WARMTENET EN WARMTEPRODUCTIE

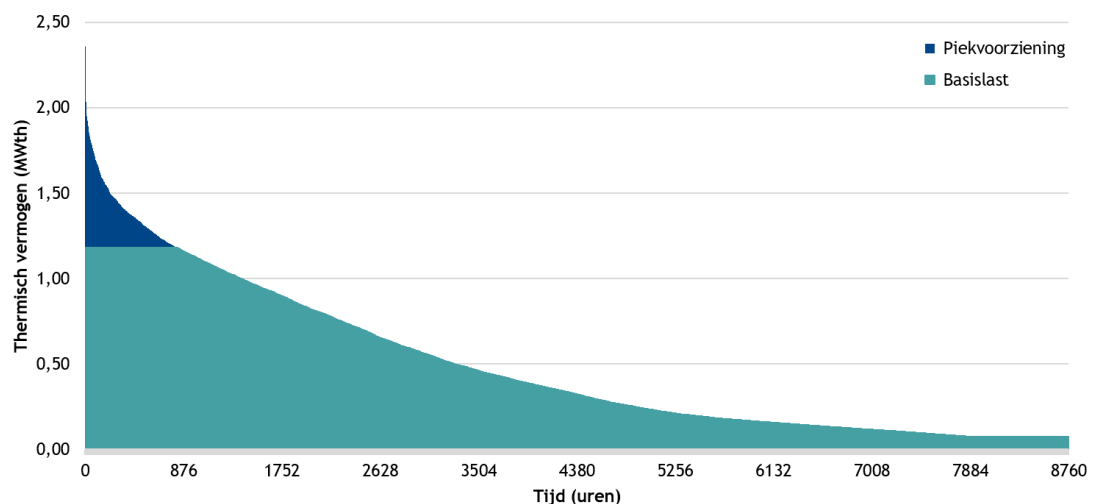
In paragraaf 2.1 is de warmtevraag gegeven. Tijdens transport treden warmteverliezen op. Hierdoor dient de warmteproductie groter te zijn dan de warmtevraag (productie = vraag + verlies). De warmteproductie is gebaseerd op dezelfde uitgangspunten als in de verdiepende studie (referentie: PR09249/TV/20241101). Dit maakt het mogelijk om de resultaten van de voorgaande en huidige studie met elkaar te vergelijken. De belangrijkste uitgangspunten worden hier herhaald:

- De warmteproductie is gebaseerd op een werkelijk geanoniseerd profiel van een vergelijkbaar warmtenet in Nederland.
- Het warmteverlies in het warmtenet is 15%.
- Het aandeel in het piekvermogen van de piekvoorziening is 50%.
- De piekvoorziening wordt geleverd met een gasketel.

Figuur 3.3 toont het warmteproductieprofiel. De totale warmteproductie is 15.442 GJ/jaar. Hiervan is 95% basislast en wordt 5% voorzien door de piekvoorziening. Het kleine aandeel van de piekvoorziening in de warmteproductie is zichtbaar in de jaarbelastingduurkromme, zie Figuur 3.4. Het piekvermogen is 2,36 MW. De basislast en de piekvoorziening hebben beide een piekvermogen van 1,18 MW.



Figuur 3.3 | Profiel warmteproductie voor warmtenet Everdingen.



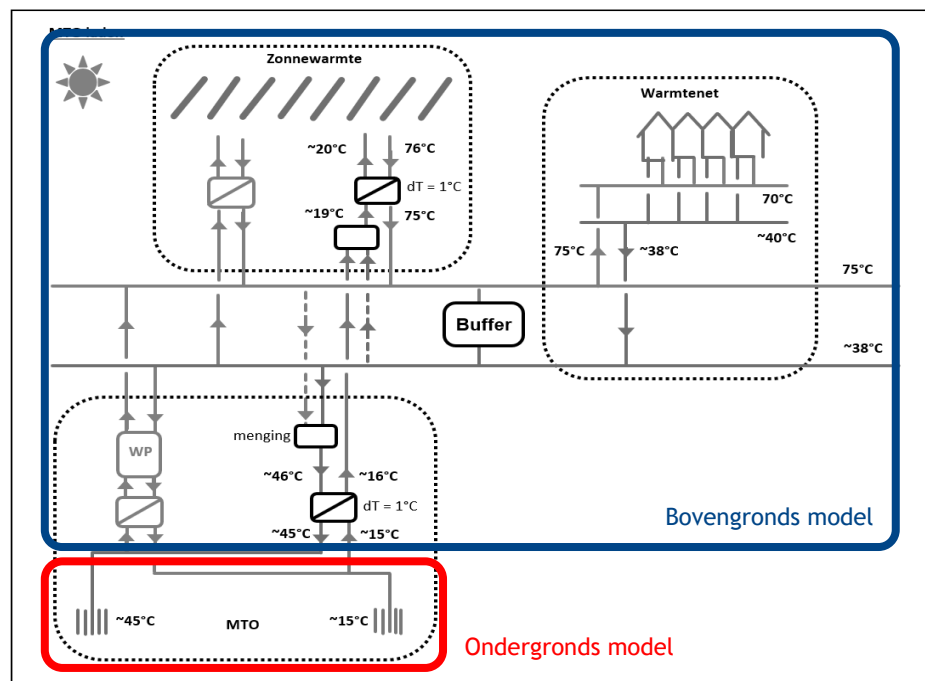
Figuur 3.4 | Jaarbelastingduurkromme voor warmtenet Everdingen.

De basislast wordt geleverd door de zonnewarmte installatie i.c.m. de MTO. De MTO levert warmte via een warmtepomp. De warmtepomp wordt niet tussen 16:00 uur en 20:00 uur gebruikt om aan de voorwaarde van de elektriciteitsaansluiting te voldoen. De vereiste warmteproductie wordt in dit tijdsinterval geleverd door het buffervat. De volgende kenmerken zijn gekoppeld aan de toepassing van het buffervat:

- Het buffervat vervangt tussen 16:00 - 20:00 uur het vermogen van de warmtepomp.
- In de voorgaande 20 uur moet het buffervat gevuld kunnen worden met duurzame warmte afkomstig uit de zonnewarmte installatie of de warmtepomp i.c.m. MTO. De gasketel wordt dus niet ingezet om de buffer te vullen.
- Met een buffervat van 145 m³ kan in 99% van de gevallen de volledige warmtevraag geleverd worden.
- Het vermogen van de gasketel blijft hetzelfde als in de variant zonder buffer.

3.3 MTO-INSTALLATIE

Voor de business case is het van belang dat het elektriciteitsverbruik van de MTO-installatie in kaart gebracht worden. Dit gebeurt a.d.h.v. twee verschillende modellen: het onder- en bovengronds model. De afbakening van de modellen is weergegeven in Figuur 3.5. Het model van de ondergrond heeft betrekking tot de warme en koude bron. Met deze simulatie wordt het thermische gedrag van de bronnen en het opslagrendement bepaald. Het bovengronds model omvat de rest van het systeem. Hierin wordt o.a. de dimensionering en het elektriciteitsverbruik van de MTO-installatie berekend.



Figuur 3.5 | Afbakening onder- en bovengronds model.

Het onder- en bovengronds model zijn indirect gekoppeld. Dit komt doordat de inzet van de MTO en de volumestromen en temperaturen in de MTO afhankelijk zijn van elkaar. In het bovengronds model wordt op basis van een ingeschat terugwinrendement van de MTO het temperatuurverloop van de bronnen ingeschat. Op basis hiervan rekt het bovengronds model het systeem energetisch door. Achteraf moet via gedetailleerde berekeningen met het ondergronds model bepaald worden wat het temperatuurverloop en het terugwinrendement van de MTO is. Dit dient gecontroleerd te worden met de inschatting die is gedaan in het bovengronds model. Indien nodig dient de energetische analyse aangepast te worden. Dit is dus een iteratief proces.

We behandelen de resultaten van de twee modellen apart.

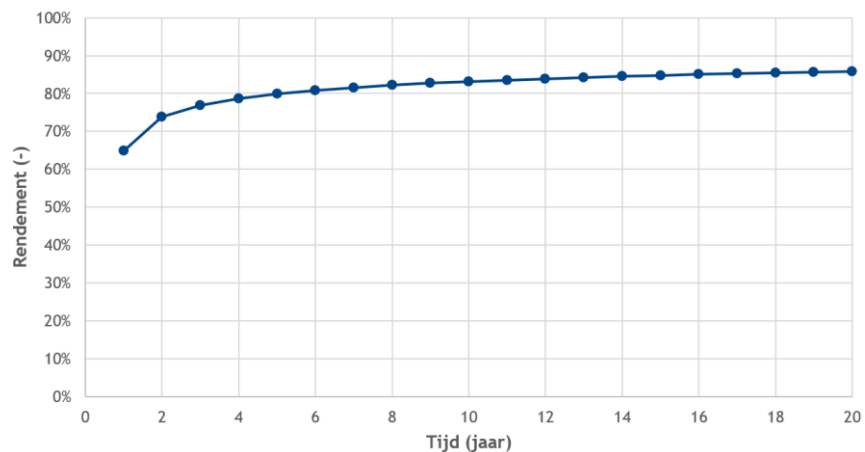
Ondergronds model

Het ondergronds model werkt met HST3D, een driedimensionaal ‘Heat and Solute Transport’ simulatie tool. Het model benadert de stroming van het geïnfiltreerde water in de warme en koude bron, de grondwater stroming en het warmtetransport in de bodem. Hierbij worden bodemeigenschappen meegenomen. Operationele condities, zoals infiltratietemperaturen, spelen natuurlijk ook een rol.

Het opslagvolume is deel van de input en heeft invloed op de stroming en het warmtetransport. Zoals alle modellen, is het ondergronds model een versimpelde benadering van de werkelijkheid. Ter

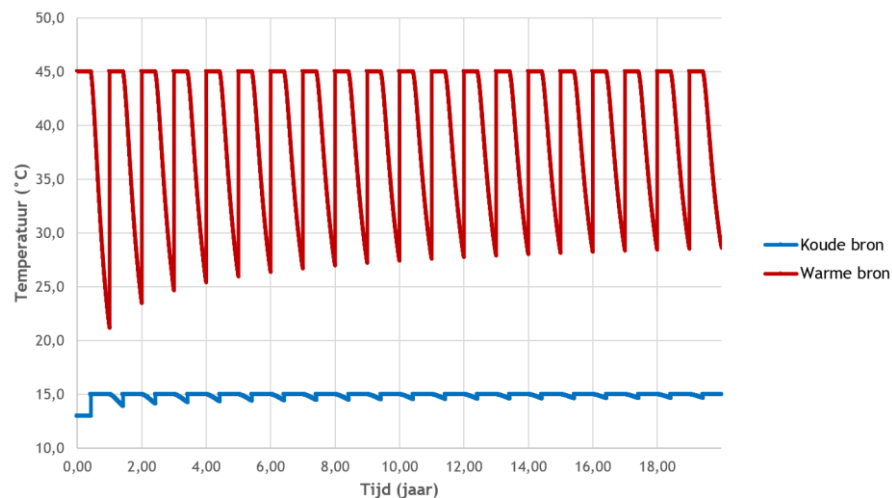
simplificatie, wordt het jaar opgedeeld in een laad- en leverseizoen. Het debiet van onttrekken en infiltreren is constant gedurende een seizoen. Het debiet wordt afgeleid van het opslagvolume. Alle operationele condities staan in Bijlage 5.

Het ondergronds model berekent het temperatuurverloop in de bronnen als functie van de hoeveelheid verpompte grondwater. Op basis hiervan wordt het terugwinrendement (verhouding geleverde warmte en opgeslagen warmte) berekend. Deze is weergegeven over tijd in Figuur 3.6. Zoals verwacht neemt het rendement de eerste jaren sterk toe. Na de eerste jaren blijft het rendement stijgen, maar neemt de mate van stijging af. In het bovengronds model is een rendement ingeschat van 80%. Dit komt voldoende overeen met de rendementen zoals berekend in het ondergronds model.



Figuur 3.6 | Opslagrendement over tijd.

De berekende temperatuurprofielen van de MTO zijn weergegeven in Figuur 3.7. Het temperatuurprofiel heeft een zogenaamde 'zaagtand' vorm. Tijdens de laadseizoenen is de infiltratietemperatuur in de hete bron constant. Tijdens leverseizoenen daalt de temperatuur in de hete bron. De mate van daling wordt elk jaar minder, met name in de beginjaren.



Figuur 3.7 | Temperatuurprofiel warme en koude/lauwe bron.

De temperatuur in de lauwe bron daalt nauwelijks. Dit komt doordat de infiltratietemperatuur (15°C) dichtbij de natuurlijke grondwatertemperatuur (ca. 13°C) ligt. Het temperatuurverschil is klein

waardoor het warmteverlies klein is. Warmtetransport wordt namelijk gedreven door temperatuurverschil.

De temperatuurdaling in de warme bron lijkt op het eerste oog fors. In het eerste jaar daalt de temperatuur naar 21°C en in de stabiele jaren naar 28°C. Toch wordt de afkaptemperatuur (20°C) niet bereikt, ook in het eerste jaar niet. Dit komt door de gunstige bodemeigenschappen. De temperatuurdaling wordt uiteindelijk gecompenseerd met een toename in debiet. Zo kan richting het einde van het leverseizoen alsnog voldoende thermisch vermogen geleverd worden.

In conclusie, zijn de resultaten van het ondergronds model positief voor de toepassing van MTO in Everdingen. Het gemiddelde opslagrendement is 83% (excl. beginjaren). Dit houdt in dat de combinatie van opslagvolume en bodemopbouw geschikt is, op basis van de huidige beschikbare en nog beperkte informatie. Er is ook een bodemscan uitgevoerd (zie Bijlage 3). Hieruit volgt dat er geen showstoppers zijn (technisch en juridisch) voor het toepassen van MTO. Merk op dat er nog geen ervaring is met de vergunningen voor MTO in de Provincie Utrecht. Of en welke eisen zij stellen aan bijvoorbeeld het terugwinrendement is nog niet duidelijk. Dit zou gecheckt moeten worden in het vervolg.

De gevonden resultaten zijn positief, maar ook onzeker. Het opslagrendement hangt sterk af van de bodemopbouw. De bodemopbouw in het model is gebaseerd op beperkte informatie. In een vervolgstudie kan met een proefboring de werkelijke bodemopbouw in kaart gebracht worden. Deze kan vervolgens geïmplementeerd worden in het ondergronds model. De resultaten kunnen daardoor veranderen.

Bovengronds model

Het bovengronds model is ontwikkeld door IF Technology. Op uurbasis wordt het gevraagd thermisch vermogen ingevuld door het beschikbaar vermogen. Tijdens het laadseizoen, wordt een deel van het beschikbaar vermogen benut om de MTO te laden. Het model wordt hieronder toegelicht. Bijbehorende uitgangspunten staan in Bijlage 5 en resultaten in Bijlage 6.

De warmteproductie ligt vast op uurbasis met het warmteproductieprofiel uit Figuur 3.3. De piekvoorziening levert warmte zodra de vereiste warmteproductie boven de 1,18 MW komt. Piekvoorziening is dus onafhankelijk van de zonnewarmte en MTO-installatie. Hoeveel warmte de zonnecollectoren en de MTO leveren aan het warmtenet wordt bepaald op uurbasis. De totale warmteproductie van de zonnewarmte, MTO, warmtepomp en piekvoorziening is te vinden in Bijlage 6.

De zonnewarmte installatie is benaderd met productieprofielen aangeleverd door Escoplan. In een productieprofiel staat het thermisch vermogen dat per vierkante meter zonnecollector geleverd kan worden (ofwel W_{th}/m^2). De productieprofielen hangen af van het type zonnecollector, gemiddelde collector temperatuur en klimaatdata voor Everdingen. De profielen zijn op uurbasis aangeleverd. In de zonnewarmte installatie zijn de zonnecollectoren gekoppeld aan een dag/nachtbuffer. Dit benaderen we door te rekenen met daggemiddelden. Het benodigd oppervlak aan zonnecollectoren hangt af van het gevraagd vermogen en het benodigd vermogen voor regeneratie van de MTO. De zonnewarmte installatie is onderdeel van het model aangezien deze interacteert met de MTO. De uiteindelijke resultaten voor de zonnewarmte installatie zoals oppervlakte en elektriciteitsverbruik zijn niet met het bovengronds model bepaald. Deze zijn namelijk bepaald met het model van Escoplan. De MTO wordt gedimensioneerd m.b.v. het bovengronds model. Het opslagrendement gevonden met het ondergronds model speelt hierbij een rol. Deze bepaalt namelijk de temperatuurafname in de

warme en koude bron gedurende het laad- en leverseizoen. Het systeem wordt gedimensioneerd met een opslagrendement van 80%. Het systeem wordt dus niet gedimensioneerd voor de beginjaren waarin een lager opslagrendement geldt. Hierdoor blijven de investeringskosten beperkt. Ook hoeft het MTO-systeem in de beginjaren nog niet maximaal te leveren. Het aansluiten van woningen op het warmtenet gaat namelijk in stappen gedurende de beginjaren. Mocht de fasering van aansluitingen in de toekomst veranderen, kan de gasketel extra ingezet worden in de beginjaren. In de eerste twee jaren wordt gebruikelijk wel maximaal geladen. Hierdoor warmt de bodem zo snel mogelijk op en kan de MTO in de jaren erna een hoog opslagrendement halen.

De MTO wordt benaderd met één laad- en leverseizoen. De MTO wisselt dus maar twee keer in het jaar tussen laden en leveren. In de werkelijkheid wisselt de MTO vaker tussen laden en leveren gedurende het jaar. Voor een haalbaarheidsstudie is de versimpelde benadering echter voldoende. Het laad- en leverseizoen zijn bepaald a.d.h.v. het warmtevraag- en zonnecollectorprofiel. De seizoenen die hieruit volgen komen overeen met voorgaande studies. Gedurende het leverseizoen wordt meer volume verpompt vanwege de lagere gemiddelde temperatuur in de bronnen t.o.v. het laadseizoen. Kijkend naar de temperaturen van de bronnen, is het verpompte watervolume in het leverseizoen geschat op 120% t.o.v. het laadseizoen. Het elektriciteitsverbruik van de MTO wordt berekend op uurbasis met het debiet en temperaturen van de bronnen (zie Bijlage 6).

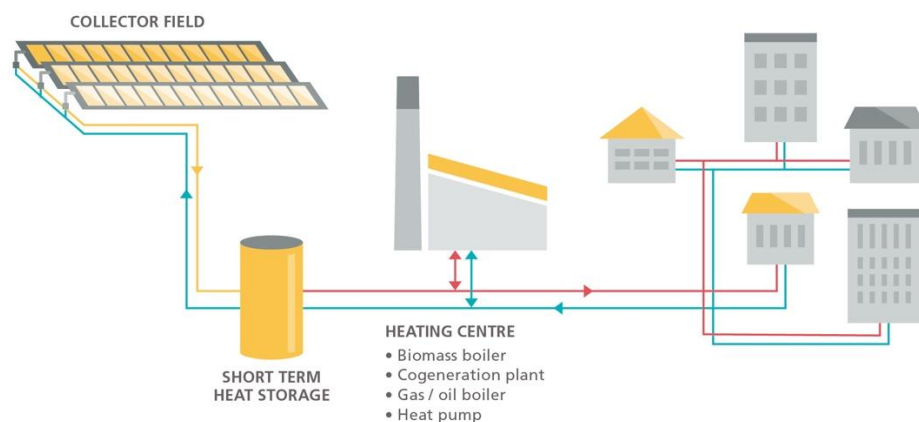
De warmtepomp is benaderd als een tweetraps warmtepomp. Er geldt namelijk een relatief grote temperatuursprong aan beide kanten van de warmtepomp. Zoals bij aquathermie en de LWWP, is de temperatuursprong over de condensor ca. 35°C. Anders is de temperatuursprong over de verdamper. Deze is namelijk ca. 25°C. Hierdoor zijn minimaal twee warmtepompen nodig, waarbij de verdampers en condensoren in serie zijn geplaatst. Dit komt de totale COP ten goede, maar vereist wel hogere investeringskosten t.o.v. één warmtepomp. Het technisch-economisch optimale ontwerp van de warmtepomp valt buiten de scope van dit onderzoek. Dit dient nader onderzocht te worden. Het elektriciteitsverbruik van de warmtepomp wordt op uurbasis berekend. Het resultaat en verdere kenmerkende waarden van de warmtepomp staan in Bijlage 5 en 6.

Conclusie MTO-installatie

De MTO-installatie i.c.m. warmtepomp is gedimensioneerd met behulp van het onder- en bovengronds model. Ook is het elektriciteitsverbruik berekend. Dit is gedaan voor vier verschillende collectortypen. Voor de vlakke plaat, vacuüm vlakke plaat en vacuümbuis collectoren (met CPC) liggen de dimensies van de MTO dicht bij elkaar. Voor de trogspiegel variant is echter een groter MTO systeem nodig. Het opslagvolume is ca. 20% groter en het maximale laaddebiet is ca. 90% groter. De MTO is groter aangezien met een trogspiegel minder vollasturen mogelijk zijn. Verder is een eerste inschatting gemaakt van de benodigde oppervlaktes aan zonnecollectoren. Ook hier is het systeem voor de trogspiegel aanzienlijk groter t.o.v. de andere collectoren (zie Bijlage 6). De definitieve dimensies en het elektriciteitsverbruik van het zonnecollectorveld zijn door Escoplan bepaald. Hierover meer in de volgende paragraaf.

3.4 ZONNEWARMTE INSTALLATIE

Zonthermie of zonnewarmte is het duurzaam verwarmen van woningen en gebouwen met de warmte van de zon. Om die warmte beschikbaar te maken worden zonnecollectoren toegepast die het zonlicht omzetten in nuttige warmte. Een optimale oriëntatie en instelhoek van de zonnecollectoren garanderen een maximale warmteopbrengst per vierkante meter collector oppervlak. Zonthermie wordt al toegepast als duurzame warmtebron voor warmtenetten, dit is ook bekend als “Solar District Heating”, afgekort SDH, en speelt een belangrijke rol in de warmtetransitie. Een typisch principe-schema van een SDH-systeem is weergegeven in Figuur 3.8.



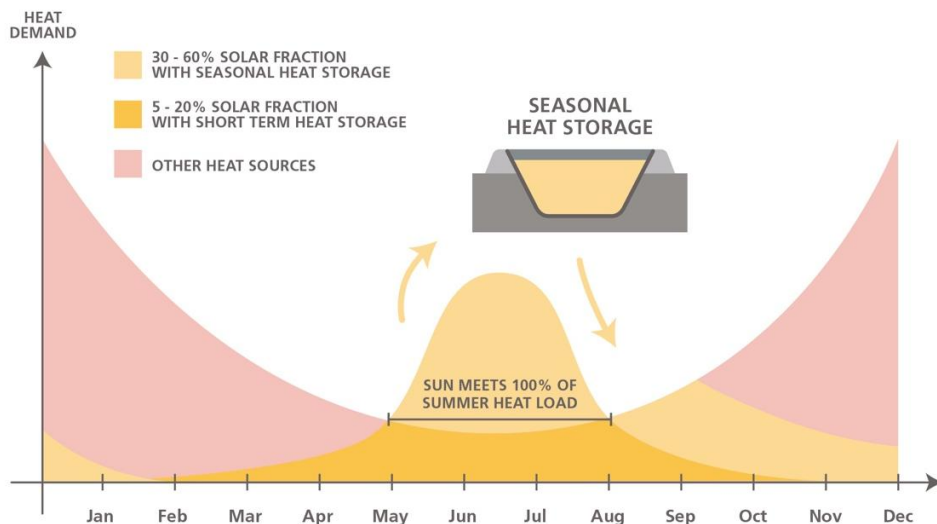
IEA SHC TASK 55

Figuur 3.8 | Principeschema Solar District Heating.

Om de warmtevraag en warmteproductie zo goed mogelijk met elkaar af te stemmen is warmteopslag essentieel, zie Figuur 3.9. Een zonthermieveld oogst in de zomer veel warmte, maar warmte is vooral in de winter nodig. De overproductie aan zonnewarmte kan in de periode tussen maart en oktober (exacte periode is afhankelijk van het vraagprofiel en het productieprofiel van de zonnecollectoren) ingezet worden om de seizoensopslag te laden. Deze opgeslagen warmte kan in de resterende periode van het jaar ontladen worden en zo aan het warmtenet worden geleverd.

Als je vraag en aanbod uitzet in een grafiek, krijg je een lijn van de warmtevraag in een badkuipvorm. De seizoensopslag (MTO) maakt het mogelijk het zogenaamde ‘badkuipprobleem’ in warmtevraag (in zomer overschot, in winter tekort) in balans te brengen. Tijdens deze periode kan het zonthermieveld, afhankelijk van de zoninstraling, ook warmte leveren aan het warmtenet.

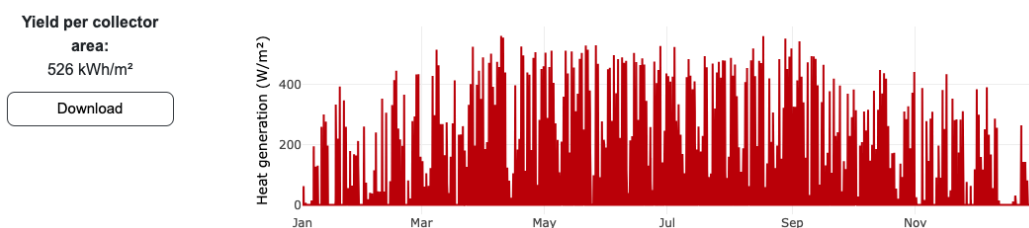
In combinatie met warmteopslag kan de zogenaamde solar fractie verhoogd worden tot ca. 60%. De solar fractie is het deel van de totale jaarlijkse warmtevraag dat door de zonnewarmte, zowel direct als indirect via de seizoensopslag, wordt geleverd inclusief verliezen.



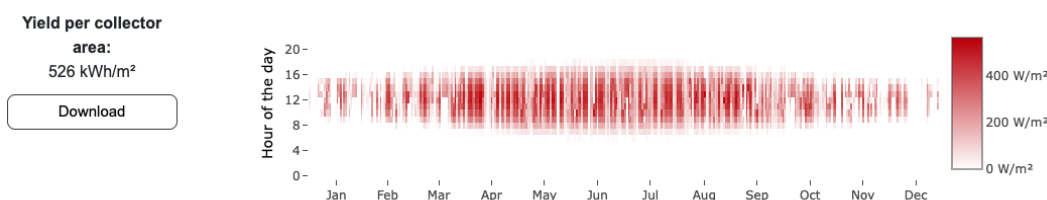
IEA SHC TASK 55

Figuur 3.9 | Zonnewarmte opslaan in de zomer om in de winter te leveren.

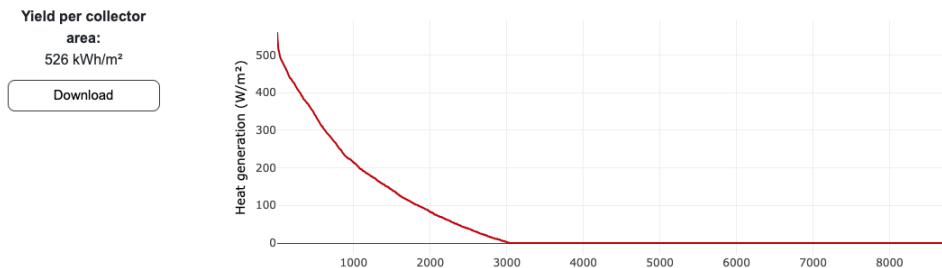
Voor het bepalen van het jaarlijkse warmteproductieprofiel van de zonnecollectoren is het softwarepakket nPro toegepast. Dit softwarepakket wordt toegepast voor het ontwerpen van duurzame warmtenetten. Met nPro kan voor elk collectortype het productieprofiel op uurbasis berekend worden aan de hand van de meteorologische gegevens van Everdingen en de technische kenmerken van de zonnecollector. Figuur 3.10 geeft een voorbeeld van een jaarlijks warmteproductieprofiel in Watt per vierkante meter collectoroppervlak. De verdeling van de warmteproductie gedurende de dag wordt inzichtelijk gemaakt in Figuur 3.11. Figuur 3.12 geeft de jaarbelastingduurkromme van een zonnecollector weer.



Figuur 3.10 | Voorbeeld jaarlijkse warmteproductie van een zonnecollector.



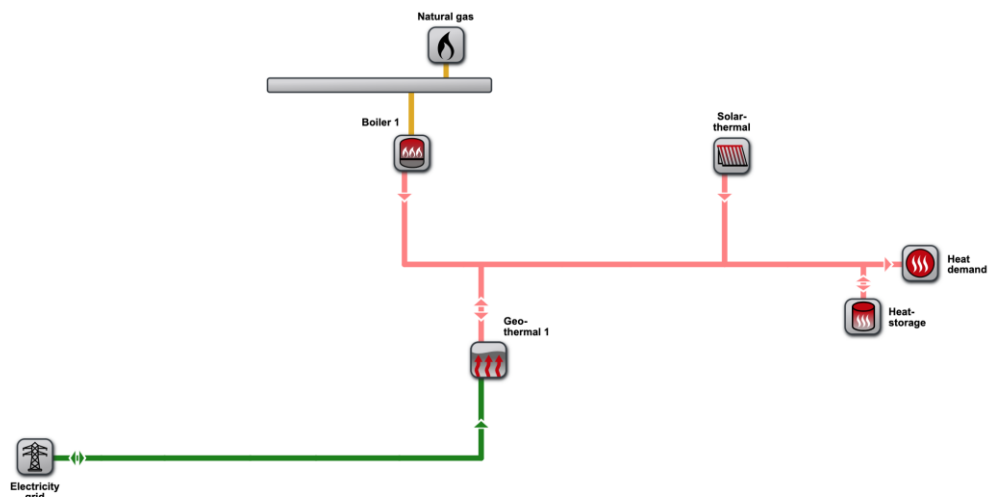
Figuur 3.11 | Voorbeeld verdeling jaarlijkse warmteproductie van een zonnecollector gedurende de dag.



Figuur 3.12 | Voorbeeld jaarbelastingduurkromme van een zonnecollector.

De grootte van het zonnecollectorveld en het volume van de dagbuffer worden gedimensioneerd aan de hand van simulaties met nPro. Voor de dimensionering van de dagbuffer is ook rekening gehouden dat deze ook het vermogen van de warmtepomp vervangt tussen 16:00 - 20:00 uur. Zie Figuur 3.13 voor het energieconcept in nPro dat voor alle zonnecollectortypes is toegepast.

Energy hub



Figuur 3.13 | nPro energieconcept Everdingen zonthermie + MTO + warmtepomp + dagbuffer.

Bij de simulaties dient de warmtevraag gedekt te worden door de aanwezige warmtebronnen. Deze berekeningen worden op uurbasis uitgevoerd. Over een heel jaar wordt bij de simulatie op uurbasis rekening gehouden met het laden en leveren van de MTO en de dagbuffer. Voor de MTO in het model van Escoplan zijn de uitgangspunten en waarden gehanteerd van IF Technology. Ook wordt bij deze simulaties de technische en financiële parameters toegepast. Na het dimensioneren van het zonnecollectorveld en de dagbuffer worden de energiestromen, zowel warmte als elektriciteit, op uurbasis inzichtelijk gemaakt. De resultaten van de simulaties zijn opgenomen in Bijlage 7.

Conclusie zonnewarmte installatie

Bij de afweging tussen de vier verschillende collectortypen volgt de vacuümbuis collector met CPC als meest kansrijke collectortype voor de business case. De afweging tussen de collectortypen en de dimensionering van de zonnewarmte installatie staan in Bijlage 2. Het zonnewarmteveld is ca. 15.000 m² groot. Een indicatief schetsontwerp van de zonnecollectorvelden staat in Bijlage 6. Resultaten uit de energetische analyses (dimensionering en elektriciteitsverbruik) zijn meegenomen in de financiële analyse.

4 Financiële haalbaarheid

In dit hoofdstuk is de financiële haalbaarheid van het energieconcept zonnewarmte met MTO onderzocht. Dit is gedaan voor één collectortype, namelijk de vacuümbuis collector met CPC. Hiervoor is een business case opgesteld. Uit de business case komt naar voren wat de investeringskosten (CAPEX), exploitatiekosten (OPEX) en opbrengsten zijn. Hiermee is de onrendabele top berekend. Dit zijn de extra financiële middelen die nodig zijn om het gewenste projectrendement te halen. Drie verschillende energieconcepten worden vergeleken op basis van de onrendabele top. De energieconcepten zijn schematisch weergegeven in Bijlage 10.

De uitgangspunten van de business case zijn toegelicht in paragraaf 4.1. De CAPEX, OPEX en opbrengsten zijn behandeld in paragraaf 4.2 t/m 4.4, respectievelijk. Resultaten van de business case, waaronder de onrendabele top, en de conclusie staan in paragraaf 4.5. Aanvullend zijn relevante subsidies beschreven in paragraaf 4.6.

4.1 UITGANGSPUNTEN

Resultaten uit de energetische analyses zijn gebruikt als input voor de business case. Aanvullende uitgangspunten zijn zoveel mogelijk gebaseerd op de voorgaande studies. Dit maakt het vergelijk met eerder onderzochte energieconcepten mogelijk. De uitgangspunten staan in Bijlage 9. Aangezien het hier de haalbaarheidsfase betreft, dient er rekening gehouden te worden met een onzekerheidsmarge van +/- 25%. In nakomende fasen zal steeds verder worden toegewerkt naar een definitief concept, waarmee de onzekerheidsmarge moet afnemen. Alle genoemde bedragen zijn exclusief BTW.

4.2 CAPEX

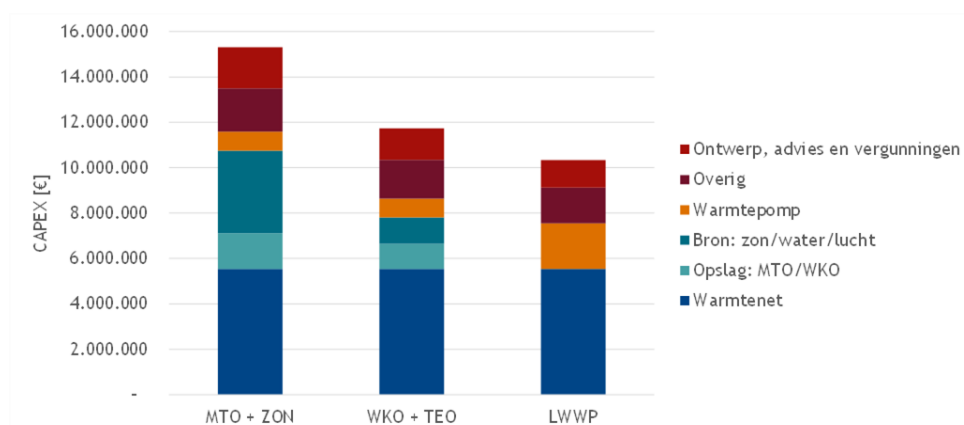
Tabel 4.1 bevat de initiële investeringskosten (CAPEX, capital expenditures) voor verschillende energieconcepten. De kosten zijn gevisualiseerd in Figuur 4.1. Het vergelijk tussen het concept 'Vacuümbuis collector met CPC + MTO' en de andere concepten is voor verschillende posten gemaakt:

- Posten behorend tot het warmtenet en piekvoorziening zijn gelijk voor de verschillende energieconcepten. Deze zijn namelijk onafhankelijk van het energieconcept.
- Distributie voor MTO of WKO betreft de verbinding tussen de bronnen en de technische ruimte (TR). Deze post is voor MTO gelijk aan WKO. Het leidingwerk voor MTO is duurder per meter vanwege isolatie. De totale kosten blijven echter gelijk, omdat er minder leidingwerk nodig is. De bronnen kunnen namelijk dichterbij elkaar geplaatst worden.
- Distributie voor zonnewarmte betreft leidingwerk binnen het zonnewarmteveld en de verbinding met de TR. Met name de distributie binnen het zonnewarmteveld brengt hoge kosten met zich mee. Dit verklaart waarom de distributiekosten voor zonnewarmte hoger zijn dan voor TEO, ook al liggen de zonnewarmtevelden dichtbij de TR.
- Voor zonnewarmte zijn de kosten voor civiele techniek en aardbewerking meegenomen. Deze kosten zijn vanwege de grote oppervlaktes van de zonnewarmtevelden belangrijk om mee te nemen in de business case.
- Het open bodemenergiesysteem MTO is duurder dan WKO. De MTO bronnen liggen namelijk in een dieper watervoerend pakket. Ook worden Pvc-buizen met een hogere drukklasse toegepast vanwege de hogere temperaturen.

Tabel 4.1 | Kosten realisatie verschillende energieconcepten.

Parameter	Eenheid	Vacuümbuis (CPC) + MTO	TEO + WKO	Collectieve LWWP
CAPEX				
distributie (warmtenet)	€	3.959.000	3.959.000	3.959.000
distributie (MTO of WKO)	€	415.000	415.000	-
distributie (zonnewarmte of TEO)	€	1.431.000	680.000	-
civiel (zonnewarmte)	€	235.000	-	-
aardbewerking (zonnewarmte)	€	100.000	-	-
gestuurde boring (INPUT IDE)	€	-	192.000	-
open bodemenergiesysteem (MTO of WKO)	€	806.000	329.000*	-
regeneratiesysteem (zonnewarmte of TEO)	€	1.662.000	289.000	-
warmtepompen collectief (inclusief TSA, pompen, etc.)	€	846.000	832.000	2.005.000
collectieve gasketel als piekvoorziening en back-up	€	122.000	122.000	122.000
afleversets	€	456.000	456.000	456.000
aansluiten woningen op warmtenet	€	1.122.000	1.122.000	1.122.000
gebouw TR (zonnewarmte)	€	200.000	-	-
gebouw TR (MTO of WKO)	€	362.000	362.000	-
aansluitkosten nutsvoorzieningen	€	94.000	94.000	94.000
buffervat (netcongestie regeling & zonnewarmte)	€	244.000	384.000*	384.000*
ontwerp- & advieskosten (15%)	€	1.808.000	1.385.000	1.221.000
onvoorzien (10%)	€	1.205.000	924.000	814.000
verzekeringen (2%)	€	241.000	185.000	163.000
totaal	€	15.308.000	11.730.000	10.340.000

*Waardes gevonden met andere aannames dan in huidige studie. De kostenraming van de WKO was in de voorgaande studie excl. inkoppeling. Bij het buffervat was uitgegaan van een ingegraven buffervat.



Figuur 4.1 | Investeringskosten (CAPEX) voor verschillende energieconcepten.

- Het regeneratiesysteem omvat de kosten voor de zonnecollectoren en zonnewarmte techniek in de technische ruimte (TR). De TEO-installatie bevat minder componenten en is daarom ook voordeliger.
- De kosten voor de warmtepompen komen relatief overeen tussen de zonnewarmte en de aquathermie (TEO) variant. Om het gevraagde vermogen te kunnen leveren, zijn in beide concepten meerdere warmtepompen nodig. De warmtepompen voor aquathermie zijn parallel geschakeld. Hierdoor is het systeem beter regelbaar en robuust. Wanneer één warmtepomp wegvalt, is er altijd nog een andere beschikbaar. Voor zonnewarmte zijn de verdamper en condensators in serie geschakeld, omdat een tweetraps opstelling nodig is. Dit komt de COP ten goede, maar is nadelig voor de robuustheid. Wanneer één warmtepomp uitvalt, heeft dit namelijk een groter effect op de warmteproductie vergeleken met de andere energieconcepten.
- Gebouw TR betreft enkel de kosten voor het gebouw, dus exclusief techniek in het gebouw. Voor zonnewarmte is een extra TR gerekend. Andere TR gebouwkosten blijven gelijk.
- De prijs van het buffervat is lager t.o.v. de andere concepten. Dit is echter een vertekend beeld, omdat in de voorgaande studie uitgegaan is van een ingegraven buffer op druk. Als voor alle concepten een niet-ingegraven, drukloze, buffer geldt, zijn de kosten voor het zonnewarmte + MTO concept het grootst. Het buffervat is namelijk het grootst (376 m³ t.o.v. 145 m³). Het buffervat is wel relatief goedkoper, omdat er schaalvoordeel geldt.

4.3 OPEX

De OPEX (operational expenditures) staan in Tabel 4.2 en zijn gevisualiseerd in Figuur 4.2. De kosten zijn voor de 'stabiele' jaren. De jaarlijkse operationele kosten nemen geleidelijk toe in de eerste zes jaren en worden daarna stabiel (zie Bijlage 9). Dit is vanwege de fasering in aansluitingen van woningen op het warmtenet. In de beginjaren geldt voor de MTO dat er extra warmte geladen moet worden. De trend van de operationele kosten volgt daarom niet exact de fasering van aansluitingen op het warmtenet. Het aantal aansluitingen heeft echter wel een grotere invloed op de OPEX dan het extra laden van de MTO. De trend in OPEX is daarom vergelijkbaar voor de drie verschillende energieconcepten.

Vergelijk in resultaten voor de belangrijkste posten:

- Het elektriciteitsverbruik van de MTO is kleiner dan de WKO, omdat hetzelfde vermogen geleverd kan worden bij een lager debiet. De bronpomp verbruikt hierdoor minder elektriciteit.
- Voor zonnewarmte is minder elektriciteit nodig dan voor aquathermie. In de zonnecollectoren neemt de temperatuur van het water aanzienlijk toe. Hierdoor neemt de dichtheid en viscositeit af. Het water stroomt hierdoor makkelijker en de circulatiepomp heeft minder elektriciteit nodig om het water rond te pompen.
- De warmtepompen verbruiken aanzienlijk minder elektriciteit in het zonnewarmte concept vergeleken met de andere energieconcepten. Dit komt doordat de zonnecollectoren warmte kunnen leveren zonder warmtepomp. Ook is de COP van de warmtepomp i.c.m. een MTO hoger waardoor minder elektriciteit nodig is.
- Elektriciteit die verbruikt wordt om te compenseren voor het warmteverlies in het buffervat is lager in het zonnewarmte concept. Dit komt door het grote aandeel van warmte in het buffervat dat geleverd is door de zonnecollectoren.
- Erfpacht geldt voor alle concepten, maar is enkel aanzienlijk groot voor zonnewarmte.

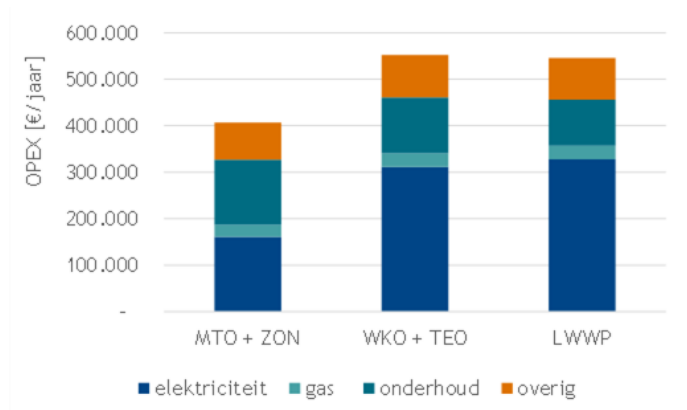
Het 'Vacuümbuis (CPC) + MTO' concept verbruikt minder elektriciteit voor seizoensopslag, warmtebron, warmtepompen en buffer. Dit leidt tot een fors lager elektriciteitsverbruik in totaal. Hierdoor is de blootstelling aan schommelingen in energieprijzen aanzienlijk kleiner. Dit vermindert

niet alleen de operationele kosten, maar vergroot ook de financiële voorspelbaarheid en stabiliteit op lange termijn.

Tabel 4.2 | Kosten exploitatie verschillende energieconcepten.

Parameter	Eenheid	Vacuümbuis (CPC) + MTO	WKO en TEO	Collectieve LWWP
OPEX				
elektriciteit variabel distributie	€/jaar	14.000	14.000	7.000
elektriciteit variabel (MTO of WKO)	€/jaar	10.000	18.000	-
elektriciteit variabel (zonnewarmte of TEO)	€/jaar	4.000	6.000	-
elektriciteit variabel warmtepompen	€/jaar	97.000	217.000	259.000
elektriciteit vaste kosten	€/jaar	35.000	53.000	59.000
elektriciteit warmteverlies buffervat	€/jaar	1.000	3.000	3.000
gas variabel piekvoorziening	€/jaar	25.000	25.000	25.000
gas vaste kosten	€/jaar	4.000	4.000	4.000
onderhoud en beheer distributie	€/jaar	45.000	56.000*	43.000
onderhoud en beheer distributie (zonnewarmte)	€/jaar	13.000	-	-
onderhoud en beheer (MTO of WKO)	€/jaar	16.000	7.000*	-
onderhoud en beheer (zonnewarmte of TEO)	€/jaar	17.000	17.000	-
onderhoud en beheer warmtepompen collectief	€/jaar	31.000	25.000	40.000
onderhoud en beheer gasketel	€/jaar	5.000	5.000	5.000
onderhoud en beheer afleversets	€/jaar	9.000	9.000	9.000
onderhoud en beheer buffervat	€/jaar	1.000	2.000*	2.000*
management/administratie/facturatie	€/jaar	71.000	96.000	96.000
erfpacht zonthermieveld	€/jaar	9.000	-	-
totaal	€/jaar	407.000	557.000	552.000

*Waardes gevonden met andere aannames dan in huidige studie. Zie ook commentaar bij Tabel 4.1.



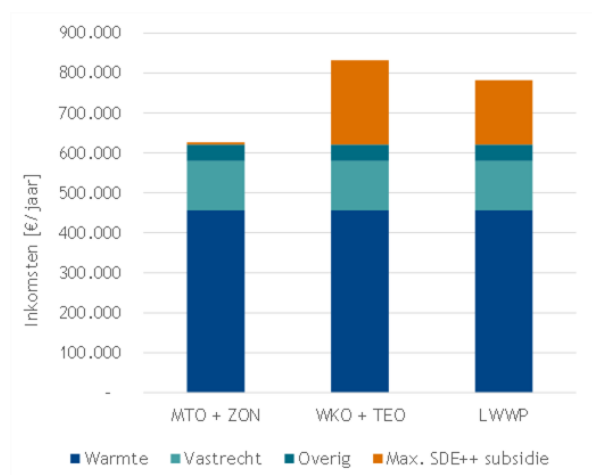
Figuur 4.2 | Operationele kosten (OPEX) voor verschillende energieconcepten.

4.4 OPBRENGSTEN

De jaarlijkse inkomsten (omzet) voor een exploitant staan in Tabel 4.3 en Figuur 4.3. Er is uitgegaan van 90% van de maximale kleinverbruikerstarieven voor warmte en koude opgesteld door de autoriteit consument en markt (ACM-tarieven). Hierdoor zijn de opbrengsten onafhankelijk van het energieconcept. Er is dus geen verschil in opbrengsten tussen de verschillende concepten.

Tabel 4.3 | Opbrengsten exploitatie uitgaande van 90% van de maximale tarieven voor warmte in 2024 vastgesteld door de ACM voor verschillende energieconcepten.

Parameter	Eenheid	Vacuümbuis (CPC) + MTO	WKO en TEO	Collectieve LWWP
Inkomsten				
warmtelevering	€/jaar	456.000	456.000	456.000
vastrecht warmte	€/jaar	124.000	124.000	124.000
meetkosten	€/jaar	7.000	7.000	7.000
huur afleverset	€/jaar	34.000	34.000	34.000
totaal	€/jaar	621.000	621.000	621.000



Figuur 4.3 | Opbrengsten voor verschillende energieconcepten.

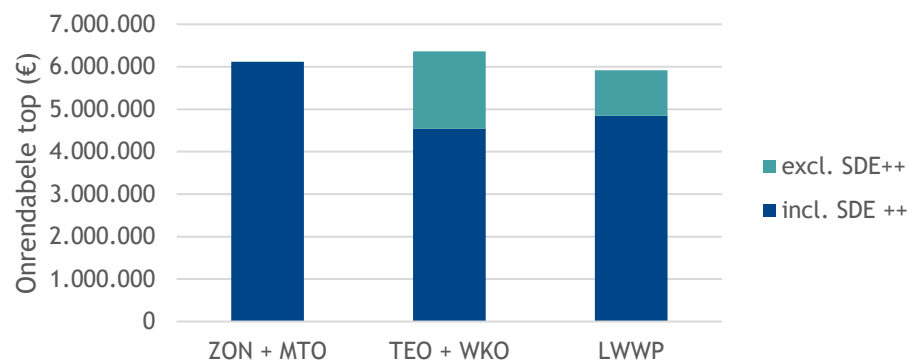
4.5 CONCLUSIE

De belangrijkste financiële resultaten staan in Tabel 4.4. Toelichting van de verschillende termen is te vinden in Bijlage 9. Uit de resultaten zijn verschillende conclusies te trekken.

Er is een aanzienlijk verschil tussen de maximale SDE++ subsidie (2024) voor zonnewarmte en voor TEO of een LWWP. De onrendabele top voor zonnewarmte is hierdoor veel hoger vergeleken met TEO en LWWP (Figuur 4.4). Het verschil in subsidie komt deels doordat het aantal vollasturen waarvoor subsidie verstrekt wordt lager is voor zonnewarmte (600 t.o.v. 3.500 uur). Verder geldt er voor zonnewarmte een hoger correctiebedrag. Het correctiebedrag legt de opbrengsten en vermeden inkoopkosten vast die voortkomen uit energieproductie met CO2-reducerende technologieën. Het wordt jaarlijks vastgesteld en is afhankelijk van de marktprijs van energie. Omdat de toekomstige marktprijs van energie moeilijk te voorspellen is, blijft de totale SDE++ subsidie over de looptijd onzeker.

Tabel 4.4 | Financiële output business case verschillende energieconcepten.

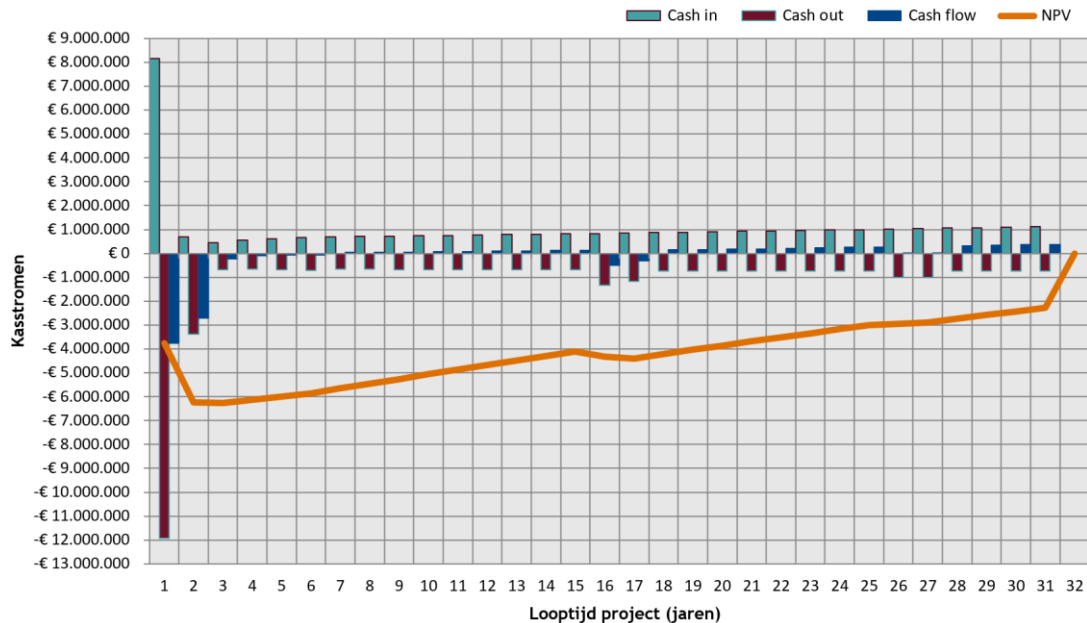
Parameter	Eenheid	Vacuümbuis (CPC) + MTO	WKO en TEO	Collectieve LWWP
projectrendement (IRR)	%	3,50%	3,50%	3,50%
weighted average cost of capital (WACC)	%	3,50%	3,50%	3,50%
netto contante waarde (NCW)	€	0	0	0
maximale SDE++ subsidie	€/jaar	6.000	211.000	161.000
WIS subsidie	€	1.609.000	1.609.000	1.609.000
bijdrage aansluitkosten (BAK)	€/WEQ	3.120	3.120	3.120
totale onrendabele top per woning	€/WEQ	21.000	16.000	17.000
totale onrendabele top	€	6.110.000	4.537.000	4.849.000
totale onrendabele top excl. SDE++ subsidie	€	6.118.000	6.364.000	5.920.000



Figuur 4.4 | Onrendabele top voor verschillende energieconcepten.

Zonder de SDE++ subsidie liggen de onrendabele toppen van de verschillende concepten dichtbij elkaar. Rekening houdend met de onzekerheidsmarge, kan gesteld worden dat de onrendabele toppen gelijk zijn. Hierbij heeft zonnewarmte de hoogste CAPEX en de laagste OPEX. De lage OPEX is te verklaren door het relatief lage elektriciteitsverbruik. Dit komt de voorspelbaarheid en stabiliteit op lange termijn van de zonnewarmte business case ten goede. De business case is namelijk minder afhankelijk van de energieprijzen.

Figuur 4.5 toont de verschillende inkomende en uitgaande geldstromen tijdens de projectduur van 30 jaar voor zonnewarmte + MTO. De investeringen starten in jaar 1 en het systeem levert warmte vanaf jaar 2 t/m jaar 31. De onrendabele top in jaar 1 zorgt voor een netto contante waarde (net present value, NPV) van nul in jaar 32. Hierbij is gerekend met een restwaarde na 30 jaar exploitatie van €17.000,-.



Figuur 4.5 | Kasstromen gedurende projectlooptijd.

4.6 SUBSIDIES

In de business case zijn twee subsidievormen (WIS en SDE++) opgenomen die op het moment van schrijven als realistisch worden beschouwd voor de toepassing van het energieconcept met Midden Temperatuur Opslag (MTO) in combinatie met zonnewarmte. Daarnaast wordt geadviseerd om in een latere fase ook andere subsidiemogelijkheden te verkennen. Ter voorbereiding hierop hebben wij een aantal potentiële subsidies geïdentificeerd die - los van de business case - nader onderzocht kunnen worden op toepasbaarheid. Bij dit vervolgonderzoek is het belangrijk te beoordelen in hoeverre de verschillende subsidies onderling te combineren zijn ('stapelbaarheid'), aangezien dit impact kan hebben op de financiële haalbaarheid van het project.

DEI+ Subsidie (Demonstratie Energie- en Klimaatinnovatie)

De DEI+ subsidie is bedoeld voor innovatieve energie- en klimaatprojecten die zich nog in de demonstratiefase bevinden en (nog) niet volledig commercieel worden toegepast. Hoewel de afzonderlijke technieken binnen het voorgestelde energieconcept niet nieuw zijn, is de combinatie ervan wél innovatief. Dit maakt het concept kansrijk voor subsidiëring via de DEI+-regeling. Wij zien hierin een mogelijkheid voor de energiecoöperatie Huibertstroom, in samenwerking met de gemeente, om deze subsidieaanvraag nader te verkennen. De belangrijkste argumenten hierbij zijn de verwachte substantiële CO₂-reductie en de schaalbaarheid van het concept. Een voorwaarde voor deze regeling is samenwerking tussen meerdere bedrijven. De subsidie kan variëren van 25% tot 80% van de subsidiabele kosten, met een maximaal bedrag van €15 miljoen per project. Subsidiabele kosten zijn kosten die direct en noodzakelijk zijn, bijvoorbeeld: Investerings in apparatuur of installaties, loonkosten van direct betrokken personeel, kosten voor inhuren van expertise of overige materiele en immateriële activa die specifiek voor het project worden aangeschaft of ontwikkeld.

MOOI-regeling (Missiegedreven Onderzoek, Ontwikkeling en Innovatie)

De MOOI-regeling is bedoeld voor consortia van minimaal drie partijen die gezamenlijk werken aan innovatieve oplossingen die bijdragen aan de klimaatdoelstellingen. De focus ligt op de thema's

elektriciteit, gebouwde omgeving, industrie en biobased/circulaire economie. Om in aanmerking te komen, dient het project niet alleen technisch innovatief te zijn, maar ook rekening te houden met sociaal-maatschappelijke aspecten en de daarbij horende kansen en impact. Voor 2024 is er een totaal subsidiebudget van €61 miljoen beschikbaar gesteld. Per project kan maximaal €4 miljoen worden toegekend. Deze regeling kan relevant zijn wanneer de energiecoöperatie Huibertstroom samen met partners het project verder kan ontwikkelen binnen een van de genoemde thema's.

Regionale subsidies en ondersteuning via de RES (Regionale Energiestrategie)

Het is de moeite waard om te onderzoeken of er nog meer aanvullende provinciale of gemeentelijke subsidieregelingen beschikbaar zijn die ondersteuning bieden voor onder meer duurzame warmtenetten, haalbaarheidsstudies of lokale energiecoöperaties. Deze regelingen sluiten vaak aan bij de doelstellingen uit de Regionale Energiestrategieën (RES) en kunnen waardevolle (co)financiering of procesondersteuning bieden.

Europese subsidies (o.a. Interreg en LIFE-programma)

Daarnaast is het de moeite waard om te verkennen of Europese fondsen zoals Interreg of het LIFE-programma van toepassing zijn op het project. Deze subsidies zijn gericht op grensoverschrijdende samenwerking en milieuprojecten binnen de EU. Een belangrijk aandachtspunt is dat hiervoor doorgaans samenwerking met buitenlandse partners vereist is, evenals het openbaar maken van onderzoeksresultaten en geleerde lessen.

5 Afweging energieconcepten

In dit hoofdstuk worden de verschillende collectieve systemen met lucht, water en zon als warmtebron met elkaar vergeleken (zie Bijlage 10 voor de bijbehorende principeschema's). Dit gebeurt aan de hand van een afwegingskader (paragraaf 5.1). Het kader is aangevuld met risico's en aandachtspunten (paragraaf 5.2). Tot slot zijn de belangrijkste conclusies onder elkaar gezet (paragraaf 5.3).

5.1 AFWEGINGSKADER

In Tabel 5.1 staat het afwegingskader en kwaliteitsborging. Verschillende succesfactoren zijn onderverdeeld in 5 hoofdthema's: techniek, financiën, betrouwbaarheid, duurzaamheid en omgevingsaspecten. Door deze brede thematische indeling ontstaat een evenwichtig en integraal beeld, waarmee de concepten op een consistente en gestructureerde wijze met elkaar kunnen worden vergeleken.

Tabel 5.1 | Afwegingskader en kwaliteitsborging.

KSF	KPI	Zonnewarmte (Vacuümbuis met CPC) + MTO	TEO + WKO	Collectieve LWWP	Toelichting	Parameter
1. Technisch	A Stroomverbruik	800	1.700	1.800	Jaarlijkse stroomverbruik	MWh _e /jaar
	B Piekvraag	0,37	0,43	0,56	Piekvraag elektrisch	MW _e
	C Gasverbruik	21.000	21.000	21.000	Jaarlijks gasverbruik	m ³
2. Financieel	A Onrendabele top	6.110.000	4.537.000	4.849.000	Excl. bijdrage aansluitkosten (BAK)	EUR
	B Onrendabele top excl. SDE++	6.118.000	6.364.000	5.920.000	Excl. bijdrage aansluitkosten (BAK)	EUR
	C Total Cost of Ownership (TCO)	37.485.000	37.752.000	36.668.000	Totale uitgaven over de looptijd (incl. financieringskosten)	EUR
	D Levelized Cost Of Heat (LCOH)	360	360	350	Totale uitgaven gedeeld door de geleverde warmte	EUR/MWh _t
3. Betrouwbaarheid	A Leveringszekerheid	Hoog	Hoog	Hoog	Beschikbaarheid van warmteproductie	-
	B Volwassenheid	Middel (zonnewarmte) + middel (MTO)	Middel (TEO) + hoog (WKO)	Hoog (LWWP)	Volwassenheid van het product a.d.h.v. toepassingen in Nederland	-
4. Duurzaamheid	A CO ₂ -emissie	59	109	114	De uitstoot van CO ₂ per hoeveelheid geleverde warmte ¹	kg/MWh _t
	B Primaire Energie Factor (PEF)	0,32	0,60	0,62	De hoeveelheid primaire energie die gebruikt wordt voor de warmtelevering ²	MWh _p /MWh _t
5. Omgevingsfactoren	A Ruimtelijke inpassing	17.000	500	500	Benodigde ruimte voor: duurzame warmtebronnen, technische ruimte	m ²

¹CO₂ uitstoot berekend met 0,21 kg/kWh_e (bron: Nationaal Energiedashboard, 2024) en 56,2 kg/GJ_{gas} (bron: Standaardwaarden NIR, 2024).

²PEF berekend met 86,1% rendement op primair fossiel elektriciteit (HHV) (bron: CBS).

Het afwegingskader is in het verloop van dit onderzoek ingevuld. Door de resultaten van de verschillende systemen te baseren op dezelfde uitgangspunten, is het mogelijk om de resultaten met elkaar te vergelijken. Hier is rekening mee gehouden in voorgaande hoofdstukken.

5.2 RISICO'S EN AANDACHTSPUNTEN

Elk van de drie energieconcepten kent specifieke risico's die - afhankelijk van de voorkeur en lokale context - in de uiteindelijke afweging kunnen worden meegenomen. Bij het concept met MTO en zonthermie spelen onder andere de afhankelijkheid van zoninstraling, hogere investeringskosten en technische complexiteit van de opslag een rol. Voor aquathermie met WKO zijn risico's verbonden aan inpassing van het aquathermie leidingwerk, seizoenafhankelijke beschikbaarheid van warmte uit oppervlaktewater en mogelijke ecologische impact. Bij de lucht-/waterwarmtepomp liggen de voornaamste risico's in het relatief hoge elektriciteitsverbruik bij lage buitentemperaturen, geluidsproductie en een lagere efficiëntie in de wintermaanden. Aangezien deze risico's lastig objectief te kwantificeren zijn, zijn ze niet expliciet opgenomen in het kwantitatieve afwegingskader, maar kunnen ze desgewenst kwalitatief worden meegewogen in de uiteindelijke besluitvorming van Huijbartstroom.

5.3 CONCLUSIE

Uit het afwegingskader volgen meerdere conclusies:

- Als de technische aspecten zoals stroomverbruik en piekvraag het belangrijkste zijn, is zonnewarmte + MTO het meest kansrijk. De technische aspecten spelen een rol bij netcongestie problematiek en financiële onzekerheden door onbekende toekomstige energieprijzen.
- Als de financiële aspecten het belangrijkste zijn, dan zijn TEO + WKO en collectieve LWWP het meest kansrijk. De onrendabele top voor deze concepten is aanzienlijk lager vergeleken met zonnewarmte + MTO. Kijkend naar de TCO (Total Cost of Ownership) en LCOH (Levelized Cost Of Heat) zijn de drie concepten even kansrijk. Het verschil in de onrendabele top komt door het verschil in SDE++ bijdrage. Als de SDE++ buiten beschouwing gelaten wordt, is de onrendabele top ongeveer gelijk voor de drie concepten. De relatief lage inkomsten vanuit de SDE++ voor zonnewarmte kunnen in het vervolg getoetst worden bij de RVO, Rijksdienst Voor Ondernemend Nederland.
- Op het gebied van betrouwbaarheid zijn de drie energieconcepten even kansrijk.
- Als de duurzaamheid het belangrijkste is, dan is zonnewarmte + MTO het meest kansrijk. Dit komt door het lage elektriciteitsverbruik van dit concept. Hierdoor is de CO₂-uitstoot het laagst. Hierbij geldt wel dat in de toekomst, wanneer enkel nog groene stroom geproduceerd wordt, de CO₂-uitstoot gelijk zal zijn voor de verschillende concepten. De PEF zal in de toekomst het laagst blijven voor zonnewarmte + MTO, zelfs ca. 50% lager vergeleken met de andere concepten. Het concept levert efficiënt warmte, waardoor minder primaire energie nodig is. Dit draagt bij aan de duurzaamheid.
- Tenslotte als de ruimtelijke inpassing het belangrijkste is, dan zijn zowel TEO + WKO als collectieve LWWP het meest kansrijk. Waarbij TEO + WKO het meest uit het zicht is.

6 Conclusies en aanbevelingen

6.1 CONCLUSIES

In de voorliggende studie is uitgebreid onderzoek gedaan naar een nieuw en duurzaam warmteconcept voor Everdingen. Hierin is een combinatie gemaakt tussen hoogwaardige warmte via een vacuumbuis collector met CPC (spiegelreflectoren) en MTO (Middelhoge Temperatuur Opslag). Dit nieuwe concept is in dit onderzoek ook vergeleken met eerder uitgewerkte concepten, zijnde een aquathermie-concept met warmte uit de Lek en een concept op basis van een lucht-/waterwarmtepomp. De hoofdvraag die wij hier beantwoorden luidt:

“Hoe ziet de business case eruit van zonnewarmte met warmte opslag in de bodem ten opzichte van thermische energie uit oppervlaktewater (TEO) met warmte opslag in de bodem en een collectieve lucht-/waterwarmtepomp?”

Uit onze resultaten trekken wij de volgende conclusies.

Business Case & afwegingskader

- De business case van zonnewarmte in combinatie met MTO heeft een significant hogere onrendabele top dan de business case van aquathermie of de lucht-/waterwarmtepomp.
- Zonder SDE++ subsidie is de onrendabele top nagenoeg vergelijkbaar, de verschillen zijn klein.
- Voor het aquathermie en lucht-/waterwarmtepomp concept is er een hogere SDE++ bijdrage (Stimulering Duurzame Energieproductie en Klimaattransitie) dan voor zonnewarmte + MTO. Dit heeft voornamelijk te maken met het hogere correctiebedrag voor zonnewarmte en het subsidiabele aantal vollasturen per techniek.
- Het energieconcept op basis van MTO in combinatie met zonnewarmte kent een hogere kapitaalinvestering (CAPEX), namelijk bijna €4 miljoen meer dan het aquathermieconcept en ruim €5 miljoen meer dan het concept met lucht-/waterwarmtepompen.
- De jaarlijkse kosten van het MTO + zonnewarmte concept liggen aanzienlijk lager (+/- € 150.000) dan beide andere concepten. Echter weegt dit binnen de looptijd (30 jaar) niet op tegen de meerkosten, waardoor de TCO (Total Cost of Ownership) en onrendabele top bij het concept MTO + zonnewarmte hoger liggen dan bij beide andere concepten.
- De jaarlijkse kosten van het zonnewarmte + MTO concept liggen lager dan de andere twee concepten. Dit komt vooral door het lage stroomverbruik van dit concept. Hierdoor is dit concept minder gevoelig voor eventuele stroomprijsverhogingen in de toekomst. Dit geeft de bewoners meer zekerheid over de toekomstige energiekosten.
- Vanuit technisch en duurzaam oogpunt is de kansrijkheid van zonnewarmte + MTO groter vergeleken met de andere energieconcepten. Het systeem is namelijk efficiënter waardoor ca. 50% minder primaire energie nodig is om warmte te produceren. De kansrijkheid op gebied van ruimtelijk inpassing is wel laag.

Middelhoge Temperatuur Opslag (MTO)

- De hoeveelheid data over de ondergrond is nog beperkt, maar op basis van de informatie die wel beschikbaar is lijkt de bodem in Everdingen geschikt voor het toepassen van MTO. Binnen de bebouwde kom van Everdingen liggen er juridisch kansen voor het inpassen, daarbuiten niet. De kansen voor MTO bevinden zich met name in de formaties Peize/Waalre, Maassluis en Oosterhout. Alle formaties kennen wel aandachtspunten.

- MTO is een bewezen technisch concept en de combinatie met zonnewarmte in Everdingen is technisch mogelijk.
- MTO heeft voldoende schaalgrootte nodig voor een voldoende hoog rendement. De warmtevraag (13.126 GJ) en het aantal aansluitingen (285 waarvan 274 woningen en 11 utiliteitspanden) in Everdingen zijn van voldoende grootte om een MTO toe te passen. Het opslagrendement is ingeschat op 82%.
- De ruimtelijke inpassing van een MTO systeem vergeleken met een WKO systeem is nagenoeg gelijk. Afhankelijk van de gekozen formatie kan de boordiepte bij MTO dieper zijn.

Zonnewarmte

- Er zijn vier verschillende zonnecollectortypes vergeleken en afgewogen. De studie laat zien dat zonthermie technisch haalbaar is voor Everdingen.
- Uit de quickscan voor zonnewarmte komt de vacuümbuiscollector met CPC als meest kansrijk naar voren. Dit kan als volgt toegelicht worden. De LCOH-waarde (Levelized Cost Of Heat) is het laagste, net als van de vlakke plaat collector. Dit komt door de relatief hoge jaarlijkse warmte-opbrengst per vierkante meter collectoroppervlak in combinatie met relatief lage specifieke investerings- en onderhoudskosten. De hoeveelheid onbenutte warmte ("curtailment") is het kleinste van alle zonnecollectoren. Bovendien is voor deze collector het jaarlijkse elektriciteitsverbruik van het zonnewarmte + MTO-systeem het laagste, net als voor de vacuüm vlakke plaat collector. Het volume van de benodigde dagbuffer is ook het kleinste, net als bij de vacuüm vlakke plaat collector.
- De zonnecollectortypes die in deze studie zijn overwogen zijn een bewezen technologie. De eerste zonthermievelden gekoppeld aan warmtenetten werden in Europa ca. 40 jaar geleden in gebruik genomen. De vacuümbuiscollector met CPC is wereldwijd ruim 20 jaar operationeel.
- Bij de ruimtelijke inpassing van een zonthermieveld bestaande uit vacuümbuiscollector met CPC is een veld nodig van ca. 17.000 m². Deze is vele malen groter dan aquathermie (ca. 500 m²)

6.2 AANBEVELINGEN

De volgende aanbevelingen zijn interessant voor een eventueel vervolgonderzoek. Deze passen niet binnen de scope van het huidige onderzoek.

Er is een significante onrendabele top voor alle varianten met een warmtenet. Geadviseerd wordt om eerst te focussen op vervolgstappen om de onrendabele top te verlagen. Mogelijkheden voor alle varianten zijn:

- Er zijn nog enkele subsidies benoemd in paragraaf 4.6 Subsidies welke de moeite waard zijn om nog te onderzoeken voor verlaging van de lasten. Vanwege de hogere onzekerheidsfactor zijn deze niet meegenomen in dit onderzoek.
- Het warmtenet vormt het grootste deel van de investeringskosten. Deze is nu geraamd op basis van een globaal ontwerp en kentallen. De onzekerheid hierop is groot. Door een meer gedetailleerd ontwerp te laten maken kunnen de kosten beter ingeschat worden. Aanvullend zou geprobeerd kunnen worden om meer informatie uit de markt te krijgen door (richt)offertes aan te vragen.

Wanneer de onrendabele top voldoende omlaag kan, ontstaan er kansen voor de ontwikkeling van een collectief systeem. In dat geval dient er een keuze gemaakt te worden welk systeem de voorkeur heeft. Wanneer gekozen wordt voor een zonnewarmte + MTO, worden de volgende vervolgstappen geadviseerd:

- De relatief lage inkomsten vanuit de SDE++ voor zonnewarmte kunnen in het vervolg getoetst worden bij de RVO (Rijksdienst voor Ondernemend Nederland). Een grotere SDE++ bijdrage leidt tot een lagere onrendabele top.
- De afweging tussen de verschillende energieconcepten kan uitgebreid worden met een concept dat PVT-panelen bevat. PVT-panelen combineren de opwek van warmte en elektriciteit, maar leveren onvoldoende temperatuur voor een 70°C-warmtenet en vereisen daarom een warmtepomp. Door hun innovatieve karakter zijn de investeringskosten relatief hoog, waardoor een nadere vergelijking met andere energieconcepten wenselijk is.
- De technische haalbaarheid van MTO in Everdingen is onderzocht met beperkte informatie. Er lijken geen "hoge risico's" aanwezig te zijn die MTO uitsluiten. Aanvullende informatie dient te worden geraadpleegd om een nauwkeuriger beeld van de bodemopbouw en de daaraan gerelateerde bodemgeschiktheid voor MTO te verkrijgen. Hiervoor kan een proefboring benodigd zijn.
- Beide juridische en geologische risico's dienen nader in kaart te worden gebracht. Dit is mogelijk in een geologische en juridische haalbaarheidsstudie.
- Het energieconcept bevat een noodzakelijke bovengrondse buffer. De koppeling van de buffer is globaal meegenomen, maar niet in detail uitgewerkt. Gedurende het realisatie traject van het energieconcept zal de constructie van het systeem concreet gemaakt worden. De koppelingen van de verschillende componenten, waaronder de bovengrondse buffer, worden in die fase uitgewerkt.
- De opslagtemperatuur van de koude bron kan geoptimaliseerd worden. Een lagere opslagtemperatuur van de koude bron vermindert warmteverliezen en verlaagt het energieverbruik van de bronpompen, wat gunstig is voor het bodemsysteem. Tegelijkertijd leidt dit tot een lagere COP van de warmtepomp, waardoor een optimale temperatuur een balans moet bieden tussen beide effecten.
- De warmtepomp is benaderd met een tweetraps warmtepomp. Het aantal trappen heeft invloed op het rendement en de kosten van de warmtepomp. In een latere fase moet onderzocht worden welk warmtepomp ontwerp economisch-technisch optimaal is.
- Een gedegen Natuur en Landschap onderzoek is nodig bij de toekomstige locatie keuze.

Bijlage 1 Quicksan MTO

In deze Quicksan is MTO in Everdingen hoog over beschouwd op basis van kennis en ervaring binnen IF Technology. Naar deze bijlage wordt verwezen in paragraaf 1.3.

1. Kunnen we met de aquifer berekeningen van IF's haalbaarheid rapport werken als we het WKO systeem op verhoogde temperatuur zouden willen laten draaien of moet dit dan opnieuw geëvalueerd worden?

De aquifer berekeningen moeten opnieuw geëvalueerd worden. WKO op hogere temperaturen heet Midden Temperatuur Opslag, MTO (25-45°C) of Hoge Temperatuur Opslag, HTO (50-90°C). Een bodemopbouw kan geschikt zijn voor WKO, maar ongeschikt voor MTO. De bodemanalyse voor MTO moet op een andere manier uitgevoerd worden. De dikte van de kleilagen, diepte van het watervoerend pakket en doorlaatbaarheid moeten opnieuw geëvalueerd worden. Los van de bodemopbouw is de schaalomvang ook belangrijk. Door toepassing van een HTO moet naast een herevaluatie van de bodem ook een compleet nieuwe investeringsbegroting gemaakt worden vanwege de andere materialen, bij MTO is dit minimaal.

2. Welke temperaturen zouden conceptueel gekozen kunnen worden? Wij denken aan 50°C. Hoe kijkt IF hier tegen aan? Welke retour temperaturen zouden hier dan bij horen?

De maximale toelaatbare temperatuur in de MTO is 45°C. Bij deze temperatuur kunnen voor het grootste gedeelte dezelfde materialen gebruikt worden als bij een WKO. Hogere temperaturen vraagt om andere materialen. PVC moet dan vervangen worden door bijvoorbeeld RVS. Dit leidt tot een duurder systeem, een HTO. Mocht hiervoor gekozen worden, is het advies om de temperatuur te verhogen naar de maximale temperatuur van 90°C. Deze temperatuur moet dan wel beschikbaar zijn vanuit de bron. Met zonthermie is dit mogelijk.

De koude bron van een MTO wordt een lauwe bron genoemd. We stellen voor om de lauwe bron te injecteren met 15°C. Aangezien deze temperatuur dichtbij de grondwatertemperatuur ligt, zal het opslagrendement hoog zijn. Een lagere temperatuur heeft een nadelig effect op het rendement van de warmtepomp, ofwel de COP. De optimale temperatuur voor de lauwe bron moet onderzocht worden per situatie.

De aanvoer- en retourtemperatuur van het warmtenet staan los van de MTO. De aanvoertemperatuur wordt namelijk geleverd met de warmtepomp en de retourtemperatuur is een resultaat van het systeemconcept en de afname in het warmtenet.

3. Als we met bovenstaande temperaturen laden, welke ontlad temperatuurcurve krijgen we dan bij gebruik in de koude maanden.

Als er 45°C wordt opgeslagen, dan zal de temperatuur zeker dalen tijdens het ontladen. De exacte ontlad temperatuurcurve hangt af van de bodemopbouw en het opslagvolume. Met simulaties is het mogelijk om de temperatuurcurve te benaderen. Hier geven we een globale beschrijving.

In de eerste jaren zal de temperatuur snel afnemen tijdens het ontladen, omdat de temperatuur van de bodem (zandpakket) nog niet volledig opgewarmd wordt in de eerste jaren. Er wordt daarom vaak een afkaptemperatuur gekozen. Wanneer de geleverde temperatuur van de MTO lager is dan de afkaptemperatuur, stopt het ontladen. Meestal is de afkaptemperatuur 4 of 5°C hoger dan de lauwe brontemperatuur. Het ontladen wordt dus bijvoorbeeld afgekapd wanneer de MTO nog maar 20°C levert. Het afkappen voorkomt dat de warmtepomp met een zeer laag rendement draait.

Eventueel kan hier wel voor gekozen worden als er geen back-up warmtebron, zoals droge koelers, aanwezig is. Na de eerste jaren (gemiddeld vier tot vijf jaar) neemt de temperatuur minder snel af tijdens het ontladen. Dit komt doordat de ondergrond dan opgewarmd is. De afkaptemperatuur wordt niet meer behaald en de MTO kan het hele seizoen warmte leveren.

4. Hoeveel warmteverlies is er in de bodem bij een WKO van 50 °C?

Dit hangt sterk af van de bodemopbouw en het opslagvolume. Wanneer deze gegevens bekend zijn, is het warmteverlies te bepalen d.m.v. simulaties. In algemene zin is het opslagrendement bij een geschikte bodem tussen de 70% en 90%. Dit betekent een maximaal warmteverlies van 30%. Wanneer de bodem ongeschikt is, kan meer dan 50% aan warmte verloren gaan. In de buurt van een rivier (bijvoorbeeld de Lek) is er kans op sterke grondwaterstroming. Mocht dit effect aanwezig zijn in het watervoerend pakket van de MTO, is de bodem minder of ongeschikt.

5. Hoeveel vermogen aan warmtepompen (kW) hebben we nodig als we een ZKC zouden hebben voor een WKO systeem van 50 °C?

Zoals eerder vermeld gaan we uit van een maximale temperatuur van 45 °C. Het vermogen dat de condensor van de warmtepomp moet leveren, hangt af van de warmtevraag. Deze is bepaald in het haalbaarheidsrapport voor TEO en WKO in Everdingen en de verdiepende studie. Deze verandert niet wanneer WKO vervangen wordt door MTO. De COP van de warmtepomp verandert wel, omdat de verdampertemperatuur hoger is bij MTO. De verdampertemperatuur is namelijk afhankelijk van de opslagtemperatuur in de koude/lauwe bron. Een hogere verdampertemperatuur leidt tot een hogere COP (kleinere temperatuursprong) en een lager compressor vermogen. In Tabel 2 staan de waardes van de warmtepomp voor WKO en MTO naast elkaar.

Tabel 2 | Berekening warmtepomp.

Parameter	eenheid	Waarde WKO	Waarde MTO
Aanvoertemperatuur warmtenet	°C	70	70
Productietemperatuur warmtenet	°C	75	75
Pinchpoint temperatuur condensor	°C	2,5	2,5
Condensortemperatuur warmtepomp	°C	77,5	77,5
Infiltratietemperatuur koude/lauwe bron	°C	7	15
dT warmtewisselaar	°C	1	1
Pinchpoint temperatuur verdamper	°C	2,5	2,5
Verdampertemperatuur warmtepomp	°C	3,5	11,5
Carnot rendement	%	60%	60%
COP warmtepomp	-	2,84	3,19
Vermogen condensor warmtepomp	MW	1,18*	1,18*
Vermogen verdamper warmtepomp	MW	0,76*	0,81*
Vermogen compressor warmtepomp	MW	0,42*	0,37*

*Waardes zijn na herevaluatie aangepast. Aanname: enkele trap warmtepomp voor WKO en MTO.

Het verdampervermogen (0,81 MW) wordt geleverd vanuit de MTO tijdens de koude maanden. In de eerste jaren zal de MTO niet het maximale vermogen leveren en zal er een back-up warmtebron moeten zijn, zoals een droge koeler. De MTO koelt de eerste jaren namelijk snel af. Het zal een paar jaar duren voordat de MTO minder snel afkoelt en een heel seizoen warmte kan leveren. Daarna kan de MTO altijd voldoen aan het maximale vermogen. Het maximum treedt hoogstwaarschijnlijk

op halverwege de koude maanden. Dan is de warme bron deels afgekoeld. Het temperatuurverloop van de warme bron is nog onbekend. Voor een eerste inschatting rekenen we met de gemiddelde temperatuur voor de warme bron, namelijk 32,5°C. Dit levert een maximaal debiet op van ca. 40 m³/h voor de MTO. Een betere inschatting is mogelijk wanneer het systeem gemodelleerd is.

6. Wat is de stand der techniek voor warmtepompen met verhoogde temperaturen?

Er zijn tegenwoordig veel verschillende warmtepompen voor het maken van 70°C warmte beschikbaar en bewezen. Door het gebruik van natuurlijke koudemiddelen zoals CO₂ (R744), propaan (R290) of ammoniak (R717) kan er met een hoger rendement een grotere temperatuursprong gemaakt worden vanwege goede thermodynamische eigenschappen. Er worden ook warmtepompen ontwikkeld die tot temperaturen van 90 en 100°C gaan. Dit kan tevens gehaald worden met cascade opstellingen van warmtepompen.

7. Hoe werkt het systeem in maanden van weinig zonuren en lage temperaturen, wordt er dan veel (meer) gebruikgemaakt van een back-up bron en/of WKO?

Het principe van de MTO is dat deze geladen wordt gedurende warme maanden en levert tijdens koude maanden. Zonthermie is beperkt beschikbaar tijdens de koude maanden, dus is de MTO nodig om het tekort op te vangen. In de eerste jaren kan de MTO mogelijk 'leeg' raken. De warme bron is dan afgekoeld tot aan de afkaptemperatuur. In dat geval is er een back-up warmtebron nodig, zoals een droge koeler. Een andere mogelijkheid is om geen afkaptemperatuur toe te passen en de MTO op lage temperatuur te laten produceren. Het nadeel hiervan is dat het systeem dan zeer inefficiënt draait.

8. Wanneer er in de zomermaanden voldoende warmte is om direct aan het net (70°C) te leveren, hoe wordt dan de WKO geladen? Op welke wijze en met welke temperatuur?

De MTO kan worden geladen met warm water dat afkomstig is van de zonnecollectoren of het warmtenet. Wanneer de zonnecollectoren ongeveer 80°C produceren, is er geen warmtepomp nodig om aan het warmtenet te leveren. Het warme water wordt 'direct' (via een warmtewisselaar) gebruikt om te leveren aan het warmtenet. Daarbij kan het warme water gebruikt worden om de MTO te laden. Het nadeel van laden met 80°C is dat er exergie vernietigd wordt, omdat de infiltratietemperatuur een maximum heeft van 45°C. Exergie zegt iets over de bruikbaarheid van warmte. De warmte op 45°C is minder bruikbaar, omdat er weer elektriciteit toegevoegd moet worden om de temperatuur geschikt te maken voor het warmtenet. Een andere mogelijkheid is om de MTO te laden met de retour van het warmtenet. De infiltratietemperatuur kan dan wel op momenten afzakken naar 38°C, maar het systeem blijft functioneel. Op deze manier gaat er geen exergie verloren. Een bijkomend voordeel is dat de retour van het warmtenet verder afgekoeld wordt voordat het naar de zonnecollectoren gaat. Hierdoor gaat er een lagere temperatuur de zonnecollectoren in, wat gunstig is voor het rendement.

De MTO laden vanuit de zonnecollectoren en vanuit de retour van het warmtenet zorgt wel voor een extra complexiteit in het systeem. In het vervolg is het belangrijk om de afweging tussen complexiteit (investeringskosten) en rendement (operationele kosten) van het systeem af te wegen.

9. Hoeveel veranderen de installatie en materiaalkosten (warmtebestendigheid) voor een WKO met 50°C ten opzichte van het huidig concept?

Zoals eerder vermeld gaan we uit van een maximale temperatuur van 45°C. De exacte verandering in installatie- en materiaalkosten verschilt per situatie. De kosten zijn zeker hoger voor MTO dan WKO, maar zullen niet twee keer duurder zijn. Het verschil komt met name door de verandering in

de ondergrondse installatie. Er zijn bijvoorbeeld extra pijlbuisen en sensoren nodig. Er moeten namelijk meer metingen gedaan worden om controles uit te voeren op het grondwater. De buizen blijven gemaakt van PVC, echter zal de wanddikte toenemen om de hogere druk te weerstaan.

Mocht er gekozen worden voor HTO, zullen de materiaalkosten fors toenemen. Het materiaal moet namelijk de hogere temperaturen kunnen verdragen. De buizen moeten dan bijvoorbeeld van RVS gemaakt worden in plaats van PVC.

10. Financieel, hoe verandert de business case met een WKO met 50°C?

Dit moet onderzocht worden. De integrale business case van het energiesysteem hangt o.a. af van de kosten die gepaard gaan met de ZKC. De kosten zijn gerelateerd aan het aantal benodigde zon-necollectoren. Dit aantal is afhankelijk van de buffercapaciteit en het aantal vollasturen voor zon-necollectoren. Het aantal vollasturen hangt af van de ontwerptemperaturen.

Onze hypothese is dat een HTO voor de schaalgrootte van Everdingen niet rendabel is.

11. Op welke vlakken praten we over nieuwe toepassingen c.q. innovatie, of is dit alles reeds ergens gerealiseerd, en zo ja waar?

MTO is een vrij nieuwe techniek, maar wel al meerdere keren gerealiseerd in Nederland. Met name het project WarmteStad in Groningen is vergelijkbaar met Everdingen. Enkele andere voorbeelden zijn het Dolfinarium in Harderwijk, NIOO in Wageningen en de tuinder Koppert Cress.

HTO is nog vol in de ontwikkeling. Er lopen meerdere onderzoeken om nieuwe HTO-systemen te ontwikkelen. De eerste HTO in Nederland werd gerealiseerd in Middenmeer, Noord-Holland. Dit systeem werd in 2021 in gebruik genomen.

12. Zou voor Everdingen een PTES systeem voor 60°C een interessant alternatief zijn? Waar liggen de grootste verschillen en uitdagingen?

Het voordeel van een PTES systeem is de mogelijkheid om op te slaan met een temperatuur van 90°C. De energiedichtheid is hierdoor zeer groot waardoor het opslagvolume kleiner is vergeleken met lagere temperaturen. De PTES kan 'direct' warmte leveren aan het warmtenet, dus leveren zonder warmtepomp. Dit is zeer gunstig voor het elektriciteitsverbruik gedurende piekmomenten.

Het nadeel is dat PTES installeren in Nederland zeer ingewikkeld is. Dit komt door de hoge grondwaterstand. Het grondwater is ook nadelig voor het opslagrendement. Een droge bodem is geschikt voor PTES. In Denemarken is PTES bijvoorbeeld goed toepasbaar. Ook is de ruimte in Nederland kostbaar. Een PTES systeem neemt meer ruimte in dan opslag in de bodem.

13. Zijn er nog andere kritische onderzoeksvragen die wij vergeten zijn?

Is de bodem en schaalomvang van Everdingen geschikt voor MTO?

We adviseren namelijk om een bodemanalyse uit te voeren voor MTO. De bodemgeschiktheid kan met een quickscan bepaald worden. Wanneer de bodemopbouw bekend is, kan het opslagrendement bepaald worden aan de hand van simulaties. Het opslagrendement hangt af van de bodemopbouw en schaalomvang. Wanneer de schaalomvang klein is, ofwel weinig woningen, is het opslagvolume in de MTO ook klein. Een kleiner opslagvolume leidt tot grotere warmteverliezen. Ongeveer 300 woningen (met gemiddelde warmtevraag) is weinig voor MTO, maar met een gunstige bodem is MTO nog steeds mogelijk.

Bijlage 2 Quicksan Zonne- warmte

1. Met het nieuwe ZKC-systeem (Zonnekrachtcentrale) uit Houten (<https://suncom-energy.com/nl/>), wat zou dan het benodigde landoppervlakte zijn om aan de warmtevraag van Everdingen te voldoen bij een temperatuur van 50 °C?

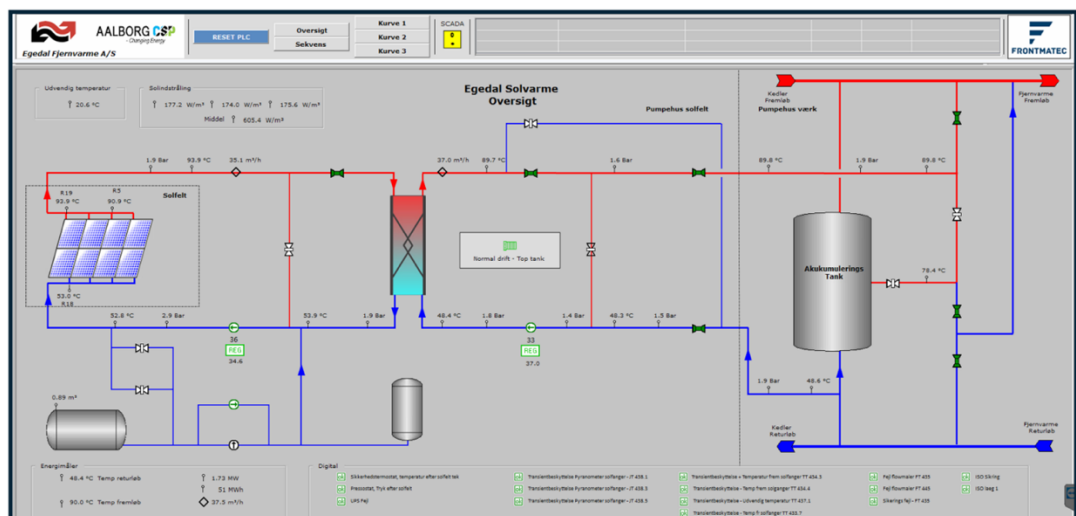
We hebben Suncom benaderd met deze vraag. Suncom deelt geen technische en financiële data met derden, vandaar dat deze marktpartij verder niet in beschouwing is genomen voor deze studie. Voor een soortgelijke collector zijn andere marktpartijen benaderd, die wel meegenomen zijn in deze studie. De benodigde landoppervlakte wordt onderaan weergegeven in deze bijlage.

2. Of is een ander systeem van een ander bedrijf beter, gangbaarder?

Er zijn diverse marktpartijen benaderd die soortgelijke trogspiegelcollectoren aanbieden. Deze marktpartijen hebben een eigen collectorontwerp met een bijbehorende performance. Het gaat om marktpartijen die diverse installaties hebben opgeleverd.

3. Wordt het ZKC-systeem direct gebruikt met het WKO-water of zit hier een extra loop in die de warmte tegen het WKO-water uitwisselt?

Wat de stand der techniek betreft is er altijd sprake van twee verschillende circuits: het primaire circuit (zonthermieveld) en het secundaire circuit (warmtenet). Tussen deze twee circuits bevindt zich een warmtewisselaar voor een efficiënte warmteoverdracht van het zonthermieveld naar het warmtenet. Het is gebruikelijk om in het zonthermieveld een mengsel van ethyleenglycol en water toe te passen om het bevriezen van het medium te voorkomen in de winter. Ter illustratie is hieronder een schema weergegeven van het zonthermiepark Egedal Fjernvarme in Denemarken (Bron: Aalborg CSP). Hier zijn de twee circuits zichtbaar, gescheiden door de warmtewisselaar.



Figuur 6.1 | Schema Zonthermiepark Egedal Fjernvarme in Denemarken (bron: Aalborg CSP).

4. Wanneer er in de zomermaanden voldoende warmte is om direct aan het net (70 °C) te leveren, hoe wordt dan de WKO geladen? Op welke wijze en met welke temperatuur?

In de retourleiding van het warmtenet vindt de warmteoverdracht plaats met de WKO via een warmtewisselaar. Dit principe is ook toegepast bij het zonthermieveld Dorkwerd in Groningen. Tijdens de zomerperiode wordt de overtollige warmte afkomstig van het zonthermieveld gebruikt om de WKO te laden. Het principeschema in Bijlage 10 geeft dit concept weer met temperatuurniveaus tijdens het laden en het leveren van de WKO.

5. Wat zou voor Everdingen de productiecurve zijn van de zonnecollectoren? Welke spreiding kunnen we hierop verwachten o.b.v. de afgelopen 5 of 10 jaar.

Voor de verdeling per maand zie bijlage 7.3. Hoewel het logisch lijkt naar het aantal zonuren te kijken is dat niet helemaal de juiste maat. Immers is ieder zonuur alleen verantwoordelijk voor een zoninstraling boven een bepaalde waarde. Voor de prestatie van de zonnecollector (in dit geval de vacuümbuis met CPC) is de totale zoninstraling per jaar van belang en dat loopt niet 1 op 1 gelijk met het aantal zonuren.

Voor de zonuren geldt voor de afgelopen 10 jaar dat er in Nederland 1910 zonuren waren met de spreiding (standaarddeviatie STDEV) van 162 uur (8%). Voor de zoninstraling (de GHI) (meetstation Cabauw vlak bij Everdingen over de afgelopen 10 jaar een waarde van 1122 kWh/m²·a met een spreiding van (STDEV) van 54 kWh/m²·a (4,8%) Dit geldt uiteraard alleen voor een normale verdeling. Dat zou bij een warmteproductie van 15.442 GJ resulteren in een standaardafwijking van 633 GJ.

Voor de berekening van het benodigde oppervlak is, zoals gebruikelijk, uitgegaan van de P50 waarde dat is de gemiddelde opbrengst waarbij 50% van het aantal jaren de opbrengst hoger zal zijn en 50 van de jaren een lagere opbrengst te verwachten is. Gezien de geringe spreiding lijkt het ons niet nodig om extra rekening te houden met (in de beginperiode) eventuele mindere jaren ook gezien de opbouw van het warmtenet en de MTO die enkele jaren in beslag zal nemen.

Tenslotte kan nog opgemerkt worden dat door de klimaatverandering een kleine maar toch duidelijk waarneembare trend gaande is dat de zoninstraling in Nederland geleidelijk toeneemt. Het afgelopen decennium in vergelijking met het decennium daarvoor zelfs een toename van 4,7%.

6. Welke keuze is er in zonnecollectoren, hoe verhouden prijs en efficiëntie zich hierin?

Wij adviseren om voor het gewenste temperatuurbereik naast de trogspiegelcollector de volgende collectortypen in beschouwing te nemen voor deze studie: (a) vlakke plaat collector, (b) vacuüm vlakke plaat collector, en (c) vacuümbuiscollector met CPC (Compound Parabolic Concentrator). De specifieke prijzen van de vier collectortypen worden in de quickscan inzichtelijk gemaakt. De efficiëntie van de zonnecollectoren is afhankelijk van de collectortemperatuur, zie bijlage. We verwijzen naar de resultaten van de quickscan waar de jaarlijkse warmteopbrengst per vierkante meter inzichtelijk wordt gemaakt.

7. Of zijn er andere factoren die belangrijk(er) zijn?

Andere factoren die belangrijk zijn:

- Gemiddelde temperatuur van het zonthermieveld. Hoe lager deze temperatuur, des te gunstiger de collector efficiëntie en de warmteopbrengst per vierkante meter collectoroppervlak. Dit geldt in mindere mate voor de parabolische trogspiegel (PTC), zie Bijlage 7.
- Verhouding van grondoppervlak tot zonnecollectoroppervlak. Voor de trogspiegel collector is deze hoger dan de andere zonnecollectoren. Dit type collector volgt de zon van het oosten naar het

westen en i.v.m. mogelijke schaduwwerking is er een minimale afstand benodigd tussen de collectorrijen.

8. Wat zijn de investeringen?

Zie resultaten uit de quickscan voor elk type zonnecollector onderaan in deze bijlage.

9. Wat zijn de jaarlijkse onderhoudskosten?

Zie resultaten uit de quickscan voor elk type zonnecollector onderaan in deze bijlage.

10. Wat zijn de opties/mogelijkheden om de ZKC natuur inclusief te maken?

Zonnecollectorvelden bieden een goede kans om de biodiversiteit te vergroten in vergelijking met traditioneel grasland. Met name geconcentreerde zonthermie heeft daarbij de beste kansen gezien de belichting en de berekening. Dit geldt niet alleen voor de flora maar ook de fauna kan bij een beetje aandacht aan zijn trekken komen. Zie ook Bijlage 8.

11. In hoeverre is een ZKC centrale gevoelig voor dieren/vogels. Denk aan poep en nesten?

Van nestelen wordt geen melding gemaakt in de literatuur. Ook bij navraag bij producenten wordt dit niet gemeld. Men verwacht dat dit o.a. een gevolg is van de bewegende delen. Vervuiling is slechts op lokale plekken die bovendien snel door regen en vuil afstotende coating weer weg zijn. Bij zonnecollectoren is bovendien een klein plekje niet van invloed op de hele collector zoals bij PV.

12. Zijn er nog andere kritische onderzoeksvragen die wij vergeten zijn?

- Wat is het elektriciteitsverbruik per jaar van het zonthermieveld?
- Wat is de specifieke warmteopbrengst per vierkante meter per jaar?
- Hoeveel is de CO₂-besparing?
- Wat is de grootte van de dagbuffer? Wat zijn de kosten van zo'n dagbuffer?
- Wat is de LCOH (Levelized Cost of Heat)?

De resultaten worden in Tabel 3 inzichtelijk gemaakt.

RESULTATEN, CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN VAN DE QUICKSCAN

Er is een quickscan uitgevoerd om het meest geschikte collectortype te selecteren voor de business case. De resultaten worden in Tabel 3 weergegeven.

Tabel 3 | Resultaten Quickskan zonthermie.

Parameter	Eenheid	Vlakke plaat col- lector	Vacuüm Vlakke Plaat col- lector	Vacuüm- buis-col- lector met CPC	Trogspiegel collector
Zoninstraling type	-	GHI ¹	GHI ¹	GHI ¹	DNI ¹
Jaarlijkse zoninstraling Everdingen	kWh/m ² .a	1051	1051	1051	961
Collector oppervlak	m ²	8,732	6,084	8,131	8,975
Verhouding grond tot collectoroppervlak	-	2.1	1.9	1.9	2.5
Benodigd grondoppervlak	ha	1.9	1.2	1.7	2.3
Warmteopbrengst aan warmtewisselaar in technische ruimte; incl. warmteverliezen	MWh	3,830	3,827	3,824	3,764
Warmteopbrengst specifiek incl. verliezen	kWh/m ² .a	439	629	470	419 ²
Specifiek piekvermogen	W/m ²	753	747	561	735
Piekvermogen	kW	6,577	4,545	4,562	6,601
Curtaiment warmte	MWh/%	177/4.5	71/1.8	66/1.7	263/6.5
Vollasturen zonthermieveld	hr	582	842	838	570
Elektriciteitsverbruik zonthermieveld	MWh/a	29.4	19.6	26.2	31.2
CO2-besparing	tCO ₂ /y	923	941	1150	1235
Warmtebuffer volumen ³	m ³	614	374	376	547
Warmtebuffer afmetingen	m (diameter/hogte)	8,6/10,6	7,2/9,2	7,2/9,2	8,2/10,3
CAPEX specifiek turnkey installatie zonthermie; incl. dagbuffer	EUR/m ²	420	790	457	471
OPEX zonthermieveld	EUR/a	36,689	48,059	37,144	42,256
CAPEX warmtebuffer	keUR	399	243	244	356
LCOH ⁴ zonthermie, dagbuffer)	EUR/MWh	79	104	80	93
Biodiversiteit	-	Minder gunstig	Minder gunstig	Minder gunstig	Gunstig
Stroomverbruik warmtepomp (MTO)	MWh/a	675	628	634	779

¹GHI: Global Horizontal Irradiance; DNI: Direct Normal Irradiance

²De trogspiegelcollector heeft voor deze locatie een te verwachten specifieke jaarlijkse warmteopbrengst van 449 kWh/m². Door een curtaiment van 6,5% valt de specifieke jaarlijkse warmteopbrengst lager uit. Dit is een gevolg van het toegestane piekvermogen tijdens het laden van de MTO en het relatief hoge piekvermogen van de trogspiegel collector in de zomerperiode.

³Bovengrondse warmtebuffer dient als dag/nacht buffer voor het zonthermieveld en vervangt ook tussen 16:00 - 20:00 het vermogen van de warmtepomp.

⁴Levelized Cost of Heat met disconteringsvoet 6% en looptijd 30 jaar; zonder subsidie. LCOH-berekening is gebaseerd op de Guideline for levelized cost of heat (LCOH) calculations for solar thermal applications (<https://task54.iea-shc.org/Data/Sites/1/publications/A01-Info-Sheet--LCOH-for-Solar-Thermal-Applications.pdf>)

Resultaat van de beoordeling

De conclusie van de QuickScan is dat de vacuümbuis collector met CPC het meest kansrijk is gebaseerd op de volgende resultaten.

- De hoeveelheid onbenutte warmte (curtailment) is het laagst voor de vacuümbuis collector met CPC, m.a.w. de jaarlijkse warmteopbrengst wordt het best benut. Dit heeft te maken met het warmteproductieprofiel van de vacuümbuis collectoren met CPC en het toegestane maximale piekvermogen voor het laden van de MTO.
- De LCOH-waarde verschilt slechts 1 EUR/MWh met de laagste LCOH-waarde van de vlakke plaat collector. Het benodigde grondoppervlak voor de vacuümbuis collector met CPC is daarentegen 15% kleiner dan het grondoppervlak voor de vlakke plaat collector.
- De som van het jaarlijkse stroomverbruik van de warmtepomp en de MTO verschilt slechts minder dan 1% dan de laagste waarde voor de vacuüm vlakke plaatcollector.
- Het aantal vollasturen per jaar is het op één na hoogste van alle collectoren en verschilt slechts 4% met het hoogste aantal.
- Het volume van de warmtebuffer is het op één na kleinste met een verschil van minder dan 1% vergeleken met de kleinste warmtebuffer.

Bijlage 3 Quicksan Bodem

Een eerste inschatting van de haalbaarheid van MTO in Everdingen is gemaakt in deze Quicksan. Naar deze bijlage wordt verwezen in paragraaf 2.2.

1. INLEIDING

Projectbeschrijving

Energiecoöperatie Huibertstroom heeft zich o.a. ten doel gesteld om de warmtevoorziening in Everdingen te verduurzamen. Er worden verschillende duurzame warmtebronnen onderzocht, zoals aquathermie en zonthermie. In de zomer bestaat een overschot aan energie uit deze bronnen, terwijl ze in de winter juist tekortschieten om aan de warmtevraag te voldoen. Een oplossing van dit probleem kan gevonden worden in warmteopslag. Middelhoge Temperatuur Opslag (MTO) is een techniek waarmee op grote schaal warmte in de ondergrond kan worden opgeslagen, om het in de winter weer terug te winnen. Ondergrondse zandlagen functioneren daarbij als thermosfles. Deze techniek lijkt sterk op het meer bekende Warmte Koude Opslag (WKO, tot 25°C), maar de opslagtemperatuur ligt wat hoger, tot circa 50 °C. Dit rapport bevat een eerste beoordeling van de haalbaarheid van een dergelijke MTO.

De projectlocatie bevindt zich ten oosten van de bebouwde kern van Everdingen (Figuur 6.2).



Figuur 6.2 | Afbeelding van het dorp Everdingen. In rood de bebouwde kern van het dorp Everdingen, in blauw het gebied waarvoor de haalbaarheidsstudie uitgevoerd wordt.

Doel van de Quicksan

Deze Quicksan bevat een eerste inschatting van de haalbaarheid van MTO in Everdingen. Daarbij wordt gekeken naar de bodemgeschiktheid voor deze toepassing en naar eventueel aanwezige restricties die vanuit het oogpunt van vergunningverlening kunnen gelden.

2. RESULTATEN, CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN VAN DE QUICKSCAN

Er is een Quickscan uitgevoerd om een eerste orde beeld te schetsen van de bodemgeschiktheid voor MTO op de locatie Everdingen alsook van lokaal heersende restricties die een risico vormen voor de vergunningverlening van een MTO-systeem.

De beoordeling van de bodemgeschiktheid en juridische aandachtspunten zijn beschreven in onderliggende hoofdstukken en samengevat in Tabel 4.

Tabel 4 | Resultaten van de Quickscan-beoordeling van de bodemgeschiktheid en juridische haalbaarheid. Groen: kansrijk, oranje: aandachtspunt, rood: showstopper.

	Peize/Waalre A	Peize/Waalre B	Maassluis	Oosterhout
Bodemgeschiktheid				
Diepte opslagpakket	100 m-mv	130 m-mv	220 m-mv	260 m-mv
Dikte opslagpakket	20 m	20 m	30 m	20 m
Lithologie opslagpakket	zand	zand	zand	zand
Horizontale doorlatendheid (K_h)	Circa 50 m/d	25 - 50 m/d	15 m/d (10 - 25)	5 - 25 m/d
Dikte afsluitende kleilaag bovenkant	ca. 30 m	10 m	Circa 30 m	Ca. 10 m
Grondwaterstroming	5 - 10 m/jaar	5 - 10 m/jaar	< 5 m/jaar	< 5 m/jaar
Juridische haalbaarheid				
Kwaliteit grondwater in opslagpakket	zoet	zoet	zoet/zout	zout
Restrictie-regels in de kern van Everdingen	Niet gelegen in restrictiegebieden			
Restrictie-regels in de omgeving van Everdingen	Diepe grondwater (>60m) onderdeel van strategische grondwatervoorraad.		Opties nader onderzoeken	Opties nader onderzoeken
Locatie t.o.v. bestaande restrictiegebieden	Kern Everdingen: Niet gelegen in restrictiegebieden Buiten de kern van Everdingen: restrictie van toepassing. Diepe grondwater (>60m) onderdeel van strategische grondwatervoorraad.			
Nabijheid bestaande grondwatergebruikers op beoogde opslagdiepte	Geen grondwatergebruikers nabij de projectlocatie			

Resultaat van de beoordeling

Bodemgeschiktheid: Goed

De conclusie van de Quickscan is dat de bodem in en rondom Everdingen geschikt lijkt voor het toepassen van MTO. Door een mooie afwisseling van zand- en kleilagen lijken er, vanuit geologisch oogpunt, vier zandlagen aanwezig te zijn die geschikt zijn voor toepassing van MTO. Warmteopslag vindt plaats in de zandlagen. De kleilagen daarboven en daaronder zorgen voor een goede afsluiting van de warmte en beperken effecten en warmteverliezen naar andere lagen.

De kansen voor MTO bevinden zich met name in de formaties Peize/Waalre, Maassluis en Oosterhout. Alle formaties kennen wel aandachtspunten.

- Beide pakketten in de formatie van Peize/Waalre hebben een lage score m.b.t. de hoge horizontale doorlatendheid waardoor de opgeslagen warmte makkelijk weg kan stromen. Voor Peize/Waalre B geldt dat de dikte van de afsluitende laag een aandachtspunt is.
- De overgang van zoet naar zout grondwater bevindt zich vermoedelijk in de formatie van Maassluis. Dat is een belangrijk aandachtspunt want een MTO-systeem mag niet over dit grensvlak geplaatst worden. Maar de technische potentie lijkt het grootst in deze formatie.
- De formatie van Oosterhout lijkt o.b.v. de beperkte bodeminformatie ook een zandige laag te bevatten. De vraag is alleen of de afsluitende laag aan de bovenzijde voldoende dik is om goede technische potentie voor MTO te bieden, dus dat is een aandachtspunt.

Een voorkeur is op dit moment niet te bepalen. Daarvoor is meer detailinformatie nodig van de bodem en van het energiesysteem waar MTO aan gekoppeld wordt.

Juridische haalbaarheid MTO: Aandachtspunten

Binnen de bebouwde kern van Everdingen bestaan de juridische mogelijkheden om MTO toe te passen in één of meerdere van de vier zandlagen die hierboven zijn genoemd. Daarbij is de overgang van zoet naar zout grondwater wel een aandachtspunt bij de zandlaag in de formatie van Maassluis.

Buiten de bebouwde kern, in de omgeving van Everdingen, bestaat één belangrijke showstopper voor MTO in de ondiepe twee zandlagen, vanuit bestaande wet- en regelgeving: buiten de kern van Everdingen lijkt MTO niet mogelijk in het zoete grondwater doordat het (vanuit de provincie) is aangewezen als kwetsbare strategische grondwatervoorraad. Vermoedelijk is MTO hier wel mogelijk in de dieper gelegen lagen met zout grondwater, maar dat moet nader worden uitgezocht.

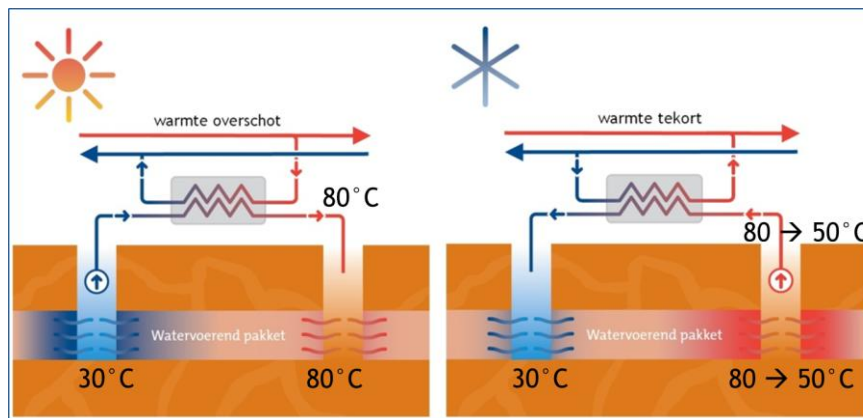
Aanbevelingen

- Deze Quicksan laat zien dat goede kansen bestaan voor MTO in de kern van Everdingen. Indien MTO een logische keuze is vanuit energetisch oogpunt, wordt aanbevolen om de technische potentie voor MTO nader te onderzoeken. Daarbij kunnen zaken inzichtelijk worden gemaakt als het haalbare debiet per put, het opslagrendement en de effecten van MTO op de omgeving. Dit kan via een Geologische en Juridische Haalbaarheidsstudie.
- Deze studie betreft een Quicksan en geen complete haalbaarheidsstudie voor MTO. Het beeld dat de Quicksan oplevert is onvolledig en gebaseerd op een beperkt aantal informatiebronnen. Aanvullende informatie dient te worden geraadpleegd om een nauwkeuriger beeld van de bodemopbouw en de daaraan gerelateerde bodemgeschiktheid voor MTO te verkrijgen, alsook van andere geohydrologische risicofactoren die relevant zijn voor MTO maar die hier niet zijn bekeken.
- Daarnaast dienen de juridische risico's nader in kaart te worden gebracht, door de lokale wet- en regelgeving nader uit te zoeken en een compleet overzicht van de aanwezige belangen op te vragen bij het bevoegd gezag. Ook deze werkzaamheden kunnen worden uitgevoerd in een geologische en juridische haalbaarheidsstudie.
- Hoewel vanuit provinciaal beleid geen juridische mogelijkheden lijken te bestaan voor MTO buiten de kern van Everdingen, is dit iets dat altijd met de provincie besproken kan worden. Maar deze Quicksan laat zien dat het voor de hand ligt om de kansen voor MTO te zoeken in de kern van Everdingen. De warmtevraag (van huizen en gebouwen etc.) komt ook uit de kern en dat onderschrijft deze aanbeveling.

3. CONCEPT HTO/MTO

Ondergrondse warmteopslag - het concept

Hoge Temperatuur Opslag (HTO) is een vorm van ondergrondse warmteopslag waarbij warmte van 25 - 90 °C wordt opgeslagen in de ondergrond, om het op een later moment weer terug te winnen (Figuur 6.3). Daarnaast wordt in de markt ook de afkorting MTO gebruikt voor Middelhoges Temperatuur Opslag van warmte tussen de 25 - 50 °C. Beschikbare (overtollige) warmte kan worden opgeslagen in de ondergrond en het grondwater door het grondwater te onttrekken bij de koude bron, daar vervolgens warmte aan toe te voegen en het opgewarmde water ten slotte te infiltreren in de warme bron. Wanneer de warmtevraag groot is wordt het warme grondwater uit de warme bron onttrokken, vervolgens wordt de warmte uit het grondwater overgedragen aan een warmtenet, waarna het afgekoelde grondwater weer bij de koude bron geïnfiltrateerd wordt. Het onttrokken grondwater wordt in dezelfde zandlaag geïnfiltrateerd als waaruit het geproduceerd is, waardoor er geen grondwater wordt verbruikt. Het grondwater dient daardoor alleen als medium voor de opslag en het transport van warmte.



Figuur 6.3 | Schematisering van de werking van een HTO-systeem dat gekoppeld is aan een warmtenet. In de zomersituatie wordt het HTO-systeem met warmte geladen vanuit het warmtenet (links), en in de wintersituatie wordt de opgeslagen warmte weer teruggewonnen (rechts). Temperaturen zijn indicatief voor een HTO-systeem, bij MTO liggen deze lager.

4. BEOORDELINGSCRITEIA

De Quicksan geeft een eerste inzicht in de haalbaarheid van MTO op de projectlocatie, op het gebied van de volgende twee categorieën:

- Bodemgeschiktheid (Hoofdstuk 5 in deze bijlage)
- Juridische risico's (Hoofdstuk 6 in deze bijlage)

Per categorie zijn een aantal kernfactoren gekozen die als bepalend worden gezien voor het eerste orde beeld van de haalbaarheid van MTO op de locatie. Deze factoren zijn opgenomen in Tabel 5 en daaronder nader toegelicht. In hoofdstuk 2 (van deze bijlage) is de beoordeling voor MTO in Everdingen ingevuld op basis van deze criteria en de onderzochte informatie.

Tabel 5 | Lijst met beoordelingscriteria die gehanteerd worden bij de quickscan MTO voor Everdingen.

	Hoog risico als	Mogelijk risico, als	Zeer geschikt, als
Bodemgeschiktheid			
Opslagpakket - Diepte	n.v.t.	<50 of >500 m-mv	50 - 500 m-mv
Opslagpakket - Dikte	<10 m	10 - 15 m	> 15m
Opslagpakket - Lithologie	Klei en silt	Kleirijk zand, glauconiet	Zand
Opslagpakket - doorlatendheid*	< 3 m/d	3 - 5 m/d, > 20 m/d	5 - 20 m/d
Dikte afsluitende kleilaag	< 5 m	5 - 10 m	> 10 m
Grondwaterstroming	> 40 m/jaar	15 - 40 m/jaar	< 15 m/jaar
Juridische haalbaarheid			
Kwaliteit grondwater in opslagpakket	n.v.t.	Zoet grondwater, of zowel zoet als zout	Zout grondwater
Locatie t.o.v. bestaande restrictiegebieden	In restrictiegebied	Buiten restrictiegebied, maar op < 500 m afstand	> 500 m afstand
Nabijheid bestaande grondwatergebruikers	Grondwatergebruikers in de buurt (<500 m)	Grondwatergebruikers in de buurt (<500 m)	Grondwatergebruikers niet in de buurt (>500 m)

* Horizontale doorlatendheid, uitgaande van een natuurlijke grondwatertemperatuur van 10 - 15 °C.

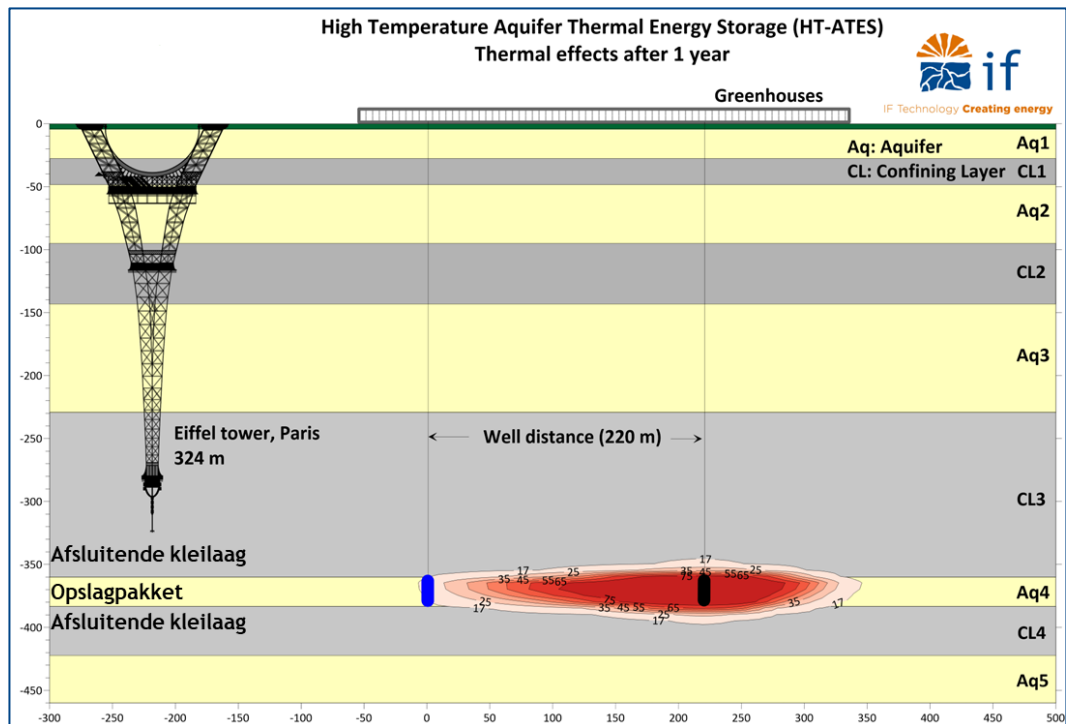
4.1. Bodemgeschiktheid

Opslagpakket

De belangrijkste vereiste voor toepassing van warmteopslag is de aanwezigheid van een opslagpakket. Een opslagpakket is een zandlaag die voldoende doorlatend is, zodat er grondwater (en daarmee ook warmte) aan kan worden onttrokken en in kan worden geïnfiltrerd. Aan de doorlatendheid van het opslagpakket zit ook een bovengrens, omdat een hoge doorlatendheid gepaard gaat met grotere warmteverliezen door opdrijving van warmte. Daarnaast leveren diepere opslagpakketten een beperkter risico op voor belangen nabij de oppervlakte vergeleken met ondiepe opslagpakketten. Voor het opslagpakket zijn dus de factoren dikte, doorlatendheid, diepte en lithologie van belang.

Afsluitende lagen

Voor HTO is het essentieel dat er zich aan de bovenkant van het opslagpakket een goed afsluitende kleilaag bevindt. Die kleilaag beperkt warmteverliezen naar ondiepere lagen en zorgt daarmee voor een aanzienlijke verbetering van het terugwinrendement (Figuur 6.4). Daarnaast is het wenselijk dat het opslagpakket aan de onderkant ook door een kleilaag wordt afgesloten. Daarmee wordt voorkomen dat er koud grondwater van onder de bronfilters in de warme bron wordt aangetrokken. Om te spreken van 'goede geschiktheid' voor HTO is als uitgangspunt genomen dat een bovengelegen kleilaag minimaal 5 m dik moet zijn om als afsluitende laag te kunnen functioneren. De kleilaag aan de onderkant van het opslagpakket is vergeleken met de kleilaag aan de bovenkant van ondergeschikt belang en daarom wordt deze hier niet als criterium meegenomen.



Figuur 6.4 | Dwarsdoorsnede door de ondergrond (voorbeeld) met daarin weergegeven het opslagpakket waar warm water in is opgeslagen en de afsluitende kleilagen boven en onder het opslagpakket.

Grondwaterstroming

Hoge grondwaterstroomsnelheid kan er voor zorgen dat opgeslagen warmte weglekt, wat een negatieve impact heeft op het rendement van het systeem. Bij voorkeur wordt het HTO-systeem daarom in de diepere lagen gerealiseerd waar de grondwaterstroomsnelheid doorgaans lager is.

4.2. Juridische risico's

Uitgangspunt van deze quickscan is toepassing van HTO tot een maximale diepte van 500 m-mv. Tot die diepte geldt de Waterwet als wettelijk kader voor vergunningverlening. Vanuit de Waterwet valt een HTO-systeem onder de juridische definitie van 'Open Bodemenergiesystemen'.

Zoet en zout grondwater

Zout grondwater wordt over het algemeen gezien als grondwater met een van nature lage kwaliteit. Zoet grondwater is in Nederland een belangrijke natuurlijke hulpbron en zodoende zijn daar meer belangen mee gemoeid dan bij het zoute grondwater. Voor open bodemenergiesystemen (zoals WKO en HTO) geldt dat het vermengen van zoet met zout grondwater vanuit het oogpunt van grondwaterbeheer niet wenselijk is. Daarom wordt gekeken of in een potentieel HTO-opslagpakket een zoet/zout grensvlak aanwezig is.

Restrictie-gebieden

Er bestaan restrictie-gebieden waar vanuit de wetgeving geen toepassing van Open Bodemenergie wordt toegestaan, zoals grondwaterbeschermingsgebieden, drinkwaterwinningen of boringsvrije zones. Aanwezigheid van deze zones nabij de projectlocatie kan een restrictie zijn.

Omgevingsbelangen

De aanwezigheid van omgevingsbelangen nabij de projectlocatie (zoals andere grondwatergebruikers) is medebepalend voor de vergunbaarheid van HTO op de locatie. Deze scan bevat een overzicht van de aanwezige omgevingsbelangen op basis van publiek beschikbare informatiebronnen. De afstand tot die belangen is bepalend voor de beoordeling.

5. BODEMGESCHIKTHEID

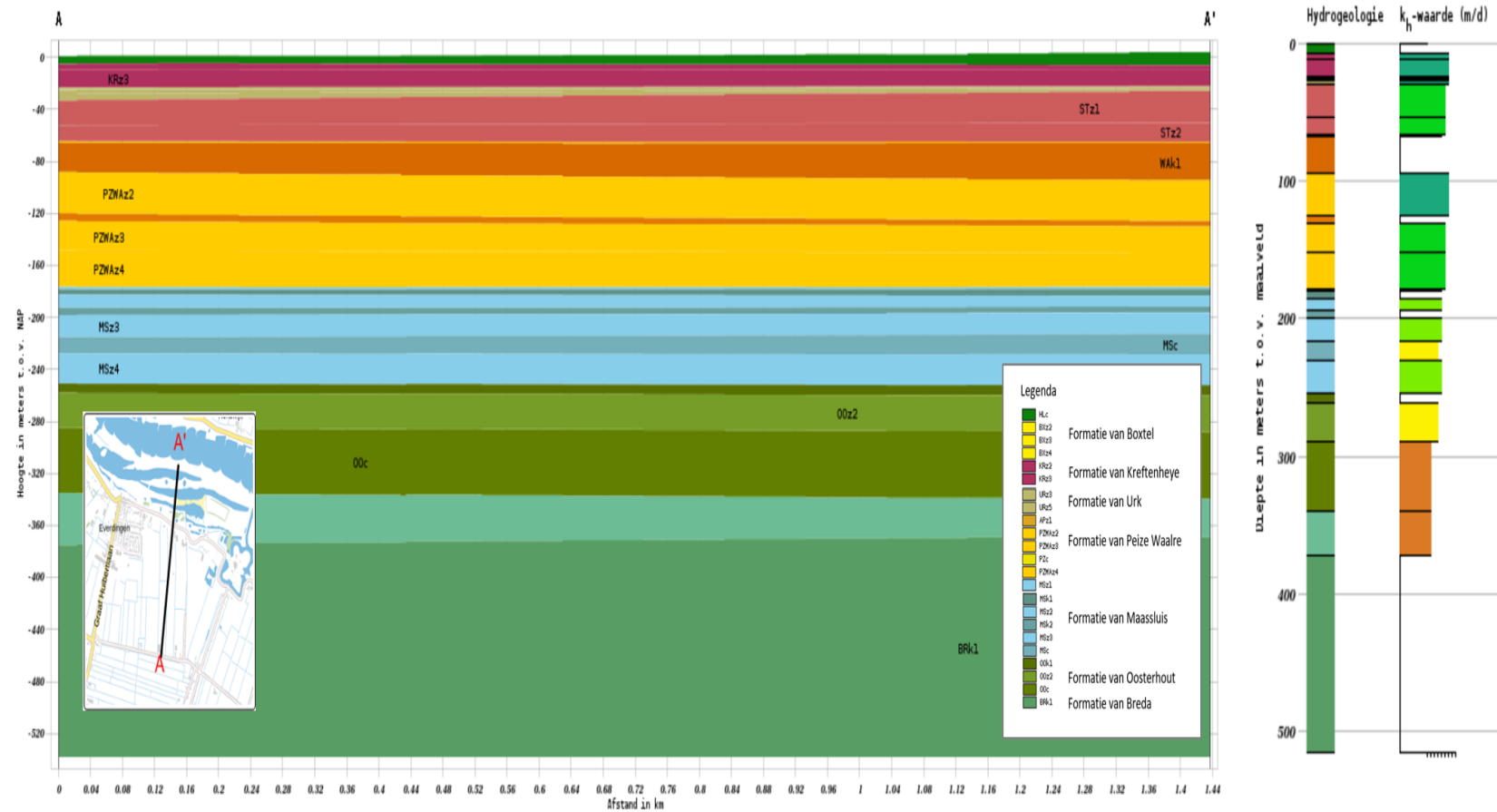
5.1. Bodemopbouw uit het Regionaal Geohydrologisch Informatie Systeem (REGIS)

Er is een dwarsdoorsnede gemaakt langs de lijn A-A', zie Figuur 6.5. Deze dwarsdoorsnede is gemaakt op basis van het ondergrondmodel REGIS v2.2, waarin de verschillende kleuren verschillende geologische formaties representeren. Binnen de formaties worden lichte en donkere tinten gebruikt om respectievelijk watervoerende pakketten en klei(ige) lagen te tonen. Het REGIS-model geeft een zo goed mogelijke inschatting van de opbouw van de ondergrond op basis van verschillende boringen, maar het blijft een model: in werkelijkheid kan de bodemopbouw afwijken. Daarom is het voor een project altijd belangrijk om de lokale opbouw en eigenschappen van de ondergrond nader te onderzoeken aan de hand van informatie uit de directe omgeving.

Op basis van de gebruikte informatie is de bodemopbouw op hoofdlijnen te beschrijven zoals die hieronder is weergegeven in Tabel 6.

Tabel 6 | Geschematiseerde bodemopbouw op de projectlocatie o.b.v. dwarsdoorsnede in REGIS. Geel gearceerde zandlagen lijken kansen voor HTO te bevatten en zijn nader beoordeeld (hoofdstuk 5.2 van deze bijlage).

diepte [m-mv]	lithologie	Naam voor potentieel HTO opslagpakket
0 - 5	klei, leem en fijn zand	
5 - 60	matig grof tot zeer grof zand	
70 - 100	klei en fijn zand	
100 - 120	Zand, matig grof	Peize/Waalre A
120 - 130	Klei	
130 - 150	Zand, matig grof	Peize/Waalre B
150 - 160	Klei	
160 - 220	Afwisseling van klei, leem en zand, lokaal ook veen	
220 - 250	Zand, afwisselend fijn tot matig grof	Maassluis
250 - 260	Klei	
260 - 280	Zand	Oosterhout
280 - 330	klei	
330 - 380	Zand	
380 - 500	klei	



Figuur 6.5 | Dwarsdoorsnede. REGIS v2.2-model, bron: Dinoloket.nl.

6.3 POTENTIËLE OPSLAGPAKKETTEN VOOR MTO

Op basis van de dwarsdoorsneden uit REGIS en de onderzochte boorprofielen lijken er potentiële opslagpakketten voor MTO met daarboven een afsluitende kleilaag aanwezig te zijn in de geologische formaties van (1) Peize/Waalre, (2) Maassluis en (3) Oosterhout. In de dwarsdoorsnede (Figuur 6.5) zijn deze weergegeven met respectievelijk de kleuren geel, blauw en donkergroen.

Voor elke formatie zijn van het opslagpakket met de beste potentie de relevante bodemparameters opgenomen in Tabel 4 en hieronder is dat nader toegelicht.

Formatie van Peize/Waalre

Binnen deze formatie lijken twee opslagpakketten aanwezig die potentie bieden voor HTO:

- Vanaf een diepte van circa 100 m-mv wordt zo'n 20m zand verwacht dat toebehoort aan de formatie van Peize/Waalre. Het gaat om matig grof tot grof zand waarvan de doorlatendheid hoog wordt geschat op circa 50 m/d. Aan de bovenkant lijkt een kleilaag aanwezig te zijn met een dikte van circa 20 m.
- Het tweede pakket binnen deze formatie is zo'n 20 m dik en wordt verwacht op een diepte vanaf ca. 130 m-mv. Ook dit pakket bestaat uit matig grof tot grof zand waarvan de doorlatendheid wordt geschat op circa 30 m/d. Aan de bovenkant lijkt een kleilaag aanwezig te zijn met een dikte van circa 10 m, in het midden van de formatie van Peize/Waalre.

Formatie van Maassluis

- De formatie van Maassluis laat op verschillende plekken een verschillende bodemopbouw zien. Met name de dieptes en diktes van lagen variëren, en vooral het diepere deel van de formatie is complex: het bestaat uit een afwisseling van zand en klei. Wel laten alle boringen relatief veel klei zien bij de overgang van Peize/Waalre naar Maassluis en daaronder bevinden zich de beste kansen voor MTO:
- Vanaf een diepte van circa 220 m-mv wordt zo'n 20 - 30 m zand verwacht dat toebehoort aan de formatie van Maassluis. Het gaat om matig grof tot grof zand waarvan de doorlatendheid wordt geschat op circa 10 - 25 m/d. Aan de bovenkant lijkt een kleilaag aanwezig te zijn met een dikte van circa 20 - 30 m.
- Ook in het diepe deel van deze formatie lijkt zand aanwezig, maar omdat dit vaak wordt afgewisseld met klei en leem wordt deze beschouwd als minder kansrijk en is deze verder niet beoordeeld.

Formatie van Oosterhout

Binnen deze formatie lijkt één opslagpakket aanwezig dat potentie biedt voor HTO:

- Vanaf een diepte van circa 260 m-mv wordt een pakket van zo'n 20 m zand verwacht dat toebehoort aan de formatie van Oosterhout. Het gaat om fijn tot matig grof zand waarvan de doorlatendheid door REGIS wordt geschat op circa 5 - 10 m/d. Aan de bovenkant lijkt een kleilaag aanwezig te zijn met een dikte van circa 10 m.

Zandlagen met weinig potentie voor MTO

De zandlaag op 5 - 60 m-mv wordt niet meegenomen in de beoordeling omdat op voorhand de verwachting is dat deze weinig potentie voor MTO biedt: het pakket ligt ondiep en is gevoelig voor lage rendementen door het zeer grove zand en de grote dikte. Ook de zandlaag op 330 - 380 m-mv wordt niet nader beoordeeld. Vermoedelijk ligt deze laag in de formatie van Breda, heeft het een zeer lage doorlatendheid en bovendien is de onzekerheid op deze diepte zeer groot.

6. JURIDISCHE RISICO'S

De juridische risico's zijn per formatie verwerkt in Tabel 4. De beoordeling van de bodemgeschiktheid en juridische aandachtspunten zijn beschreven in onderliggende hoofdstukken en samengevat in Tabel 4. De score is hieronder nader toegelicht.

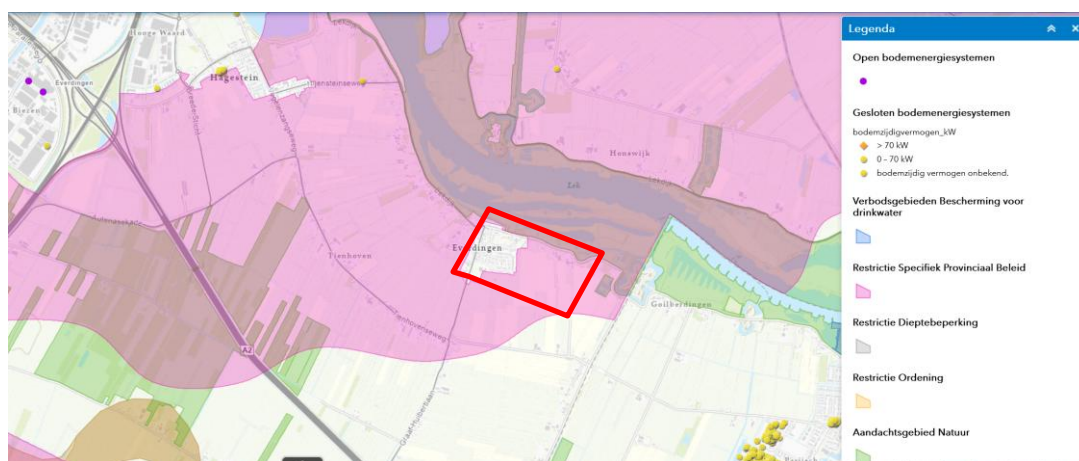
Zoet en zout grondwater

De overgang van zoet naar zout grondwater bevindt zich op een diepte van ca. 200 m, in de formatie van Maassluis. Dat betekent dat het grondwater in de formatie van Peize/Waalre zoet is, en in de formatie van Oosterhout zout. In de formatie van Maassluis wordt zoet en zout grondwater verwacht. Met name het vermengen van zoet en zout grondwater is niet toegestaan en dat betekent een aandachtspunt voor de (juridische) potentie voor MTO in de formatie van Maassluis.

Restrictie-gebieden en omgevingsbelangen

Op basis van beschikbare informatie uit de WKO-tool (www.wkotool.nl) is hieronder weergegeven welke restrictiegebieden en omgevingsbelangen aanwezig zijn op de projectlocatie. Er wordt opgemerkt dat dit overzicht in deze quickscan onvolledig kan zijn en dat navraag bij het bevoegd gezag moet worden gedaan om een volledig beeld te ontvangen van het heersende beleid en de aanwezige omgevingsbelangen.

De WKO-tool (wkotool.nl) laat gebieden zien waar specifieke bescherming voor geldt vanuit het oogpunt van drinkwaterbescherming, natuur, ruimtelijke ordening en andere grondwaterbelangen zoals andere open bodemenergiesystemen. Zie Figuur 6.6.



Figuur 6.6 | Inventarisatie van de omgevingsbelangen nabij de projectlocatie (bron: WKO-tool). De projectlocatie is weergegeven in rood. Bron: WKOtool.nl

Uit de WKOtool (wkotool.nl) blijkt dat er voor de juridische mogelijkheden onderscheid moet worden gemaakt in twee zones: de bebouwde kern van Everdingen, en de omgeving. De conclusie is: binnen de kern is MTO en HTO wel vergunbaar, daarbuiten alleen in het eerste watervoerende pakket vanwege de aanwijzing van het diepe grondwater als kwetsbare strategische grondwatervoorraad.

Kern Everdingen: MTO vergunbaar

In de bebouwde kern van Everdingen gelden geen restricties voor bodemenergie zoals een boringsvrije zone, een grondwaterbeschermingsgebied of een aandachtsgebied voor aardkundige waarden. Dat betekent dat hier vanuit heersende regelgeving mogelijkheden moeten bestaan voor toepassing van MTO. Wel ligt er in het bebouwde gebied een gebied met archeologische waarde, en ligt er direct ten noorden van het projectgebied een aandachtsgebied voor natuurwaarden. Omdat het MTO-systeem slechts in beperkte mate invloed mag hebben op de grondwaterstand in het natuurgebied is dit een aandachtspunt voor de juridische potentie, maar het is geen showstopper. De technisch geschikte MTO-lagen (zie Tabel 6) liggen dieper dan 100m en dat maakt dat van effecten aan maaiveld vermoedelijk geen sprake zal zijn. Verder maken we op dat er geen vergunde bodemenergiesystemen of grootschalige grondwateronttrekkingen in de directe nabijheid van de projectlocatie aanwezig zijn.

Omgeving Everdingen: MTO niet vergunbaar vanaf ca. 60m diepte

De woonkern van Everdingen wordt omringd door een gebied dat door de provincie Utrecht is aangewezen als matig kwetsbare strategische grondwatervoorraad (zie paarse kleur in Figuur 6.6, de projectlocatie is weergegeven in rood). Daar is het niet toegestaan om een open bodemenergiesysteem aan te leggen in het zoete grondwater dieper dan het eerste watervoerende pakket, oftewel niet dieper dan 60 m beneden maaiveld. Mogelijk is MTO in de dieper gelegen lagen met zout grondwater wel mogelijk, maar dat moet nader worden uitgezocht.

In het kort betekent dit dat voor het gebied buiten de kern van Everdingen MTO alleen kan worden toegepast in lagen met zout grondwater, die gelegen zijn op grotere diepte, zoals de formatie van Maassluis en Oosterhout (>200 m diepte, zie Tabel 4).

Bijlage 4 Zonnewarmte beschrijving

In deze bijlage worden de volgende componenten beschreven:

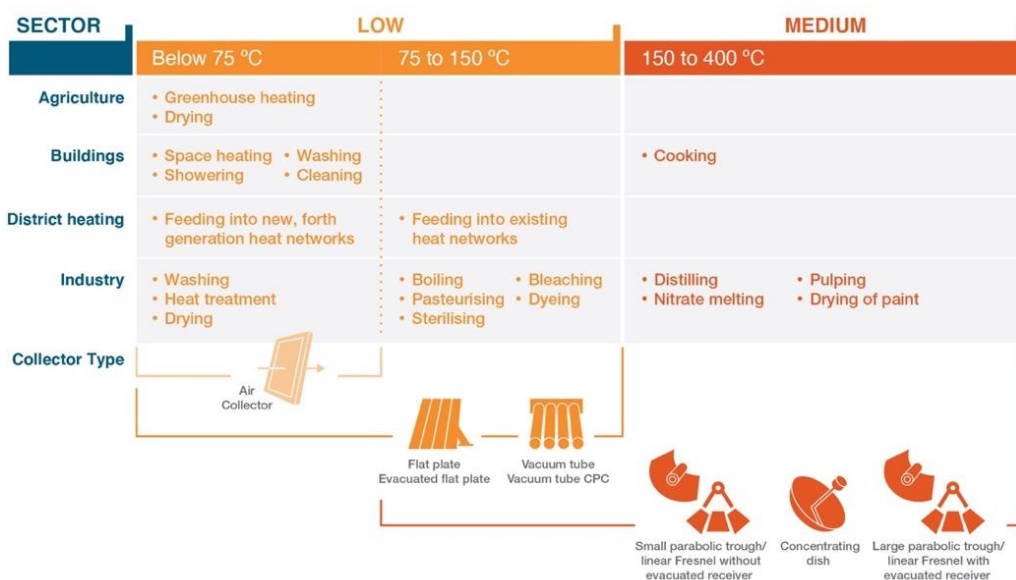
- 1 type zonnecollectoren,
- 2 zoninstraling,
- 3 collectorrendement,
- 4 warmteopbrengst profiel,
- 5 dag-/nachtbuffer.

1. Type zonnecollectoren

De keuze van het type collector hangt af van verschillende factoren, zoals

- prijs,
- rendement,
- bedrijfstemperatuur,
- locatie (beschikbare zonnestraling, omgevingstemperaturen).

De in de onderstaande figuur genoemde collectortypes hebben verschillende eigenschappen, bijzondere kenmerken, en toepassingen. Het collectortype hangt o.a. af van de gewenste temperatuur.



Figuur 6.7 | Overzicht collectortypes en temperaturen (bron: Solrico).

Vlakke plaatcollectoren en vacuümbuiscollectoren hebben een vaste instelhoek. De parabolische trog collector is daarentegen uitgevoerd met een volgsysteem. Deze collector volgt de zon van zonsopgang tot zonsondergang. Door het volgen van de collectoren kan de zoninstraling over een hele dag beter worden benut. De direct zoninstraling wordt aan de hand van parabolische spiegels op een absorberbuis geconcentreerd waar een vloeistof wordt verhit.

Figuur 6.8 geeft een voorbeeld van de vier verschillende collectortypen die in de deze studie worden beschouwd. Van linksboven met de klok mee: parabolische trogspiegel, vacuümbuiscollector, vlakke plaat collector, vacuüm vlakke plaat collector.



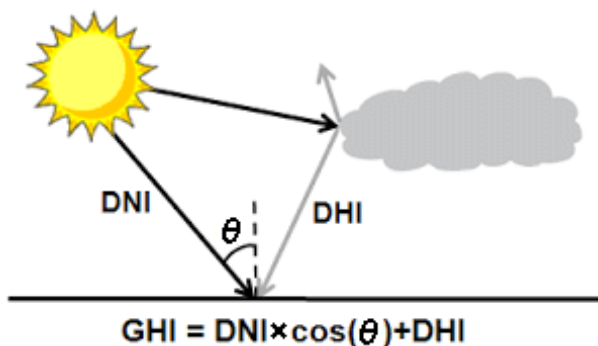
Figuur 6.8 | Overzicht collectortypes (bron: Solarthermalworld).

2. Zoninstraling

Als we naar de zoninstraling kijken die bij zonnewarmte gedeeltelijk omgezet wordt in nuttige warmte kan deze als volgt ingedeeld worden:

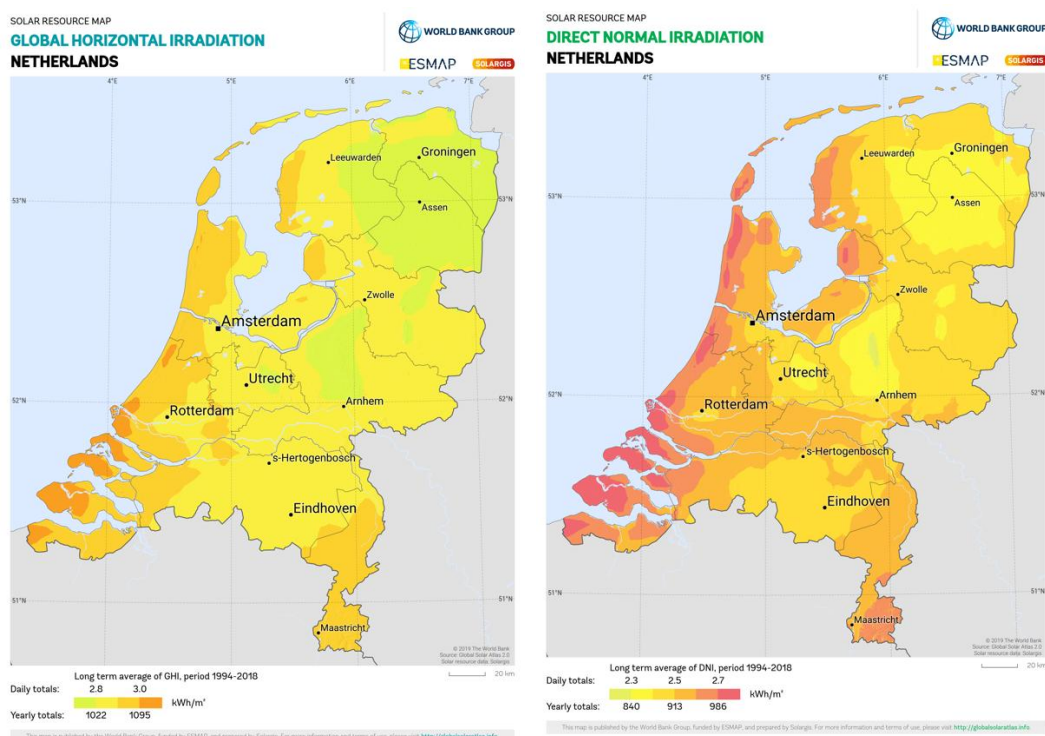
- DNI (Direct Normal Irradiance): de hoeveelheid instraling ontvangen door een oppervlak dat altijd loodrecht staat op de stralen afkomstig van de zon.
- DHI (Diffuse Horizontal Irradiance) de hoeveelheid instraling ontvangen door een horizontaal oppervlak, die door de atmosfeer is verstrooid of verspreid.
- GHI (Global Horizontal Irradiance): de hoeveelheid instraling op een oppervlak horizontaal ten opzichte van het aardoppervlak.

De globale horizontale instraling die op het aardoppervlak valt, bestaat uit de diffuse horizontale instraling en de directe normale instraling van de zon. De relatie is hieronder weergegeven.



Figuur 6.10 | Vergelijking voor het berekenen van GHI met behulp van DNI en DHI (bron: Boutahir et al.).

De onderstaande kaarten geven een overzicht van de jaarlijkse instraling voor Nederland in kWh per vierkante meter. De GHI- en DNI-waarden zijn aan de kust hoger dan in het binnenland. De kleuren op beide kaarten komen niet met elkaar overeen.



Figuur 6.9 | Zoninstraling Nederland GHI en DNI (bron: Solargis).

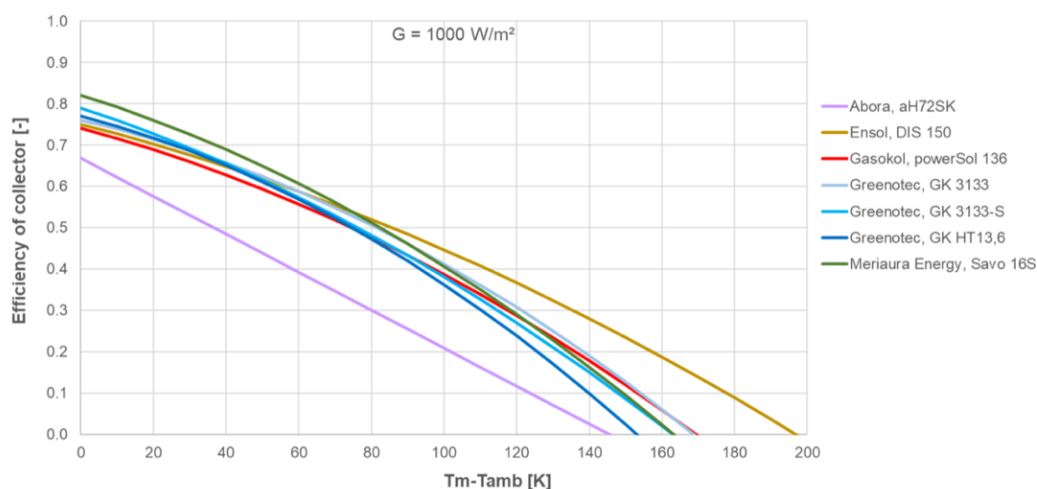
Een parabolische trogcollector is een zonnecollector met lineaire focus, in principe samengesteld uit een parabolische trogvormige spiegel die directe zonnestraling (DNI) reflecteert op een ontvanger of absorberbuis die zich in de brandpuntslijn van de parabool bevindt.

De GHI is de belangrijkste instraling voor de vlakke plaat collector, vacuüm vlakke plaat collector, en vacuümbuiscollector met CPC.

3. Collectorrendement

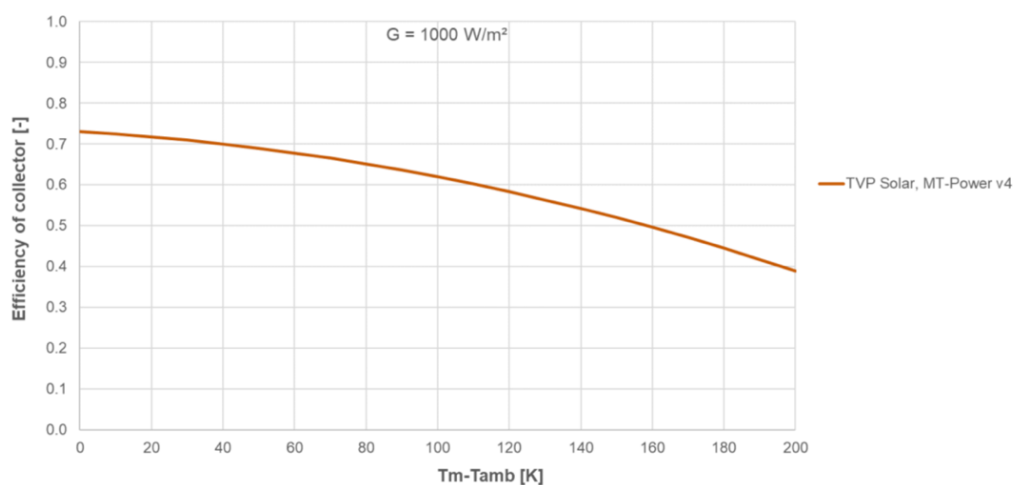
Hieronder wordt het collector rendement van de verschillende collectoren, die in de quickscan worden onderzocht, weergegeven t.o.v. de het temperatuurverschil ($T_m - T_{amb}$) bij een gelijke instraling ($G = 1000 \text{ W/m}^2$). Op onze breedtegraad bedraagt de waarde aan de oppervlakte ongeveer 1000 W/m^2 op een heldere dag rond het middaguur in de zomermaanden. T_m staat voor gemiddelde collector-tempratuur en T_{amb} staat voor omgevingstemperatuur.

Het collectorrendement wordt gedefinieerd als de verhouding tussen de nuttige energie en de totale energie die door de zonnestraling wordt geabsorbeerd.



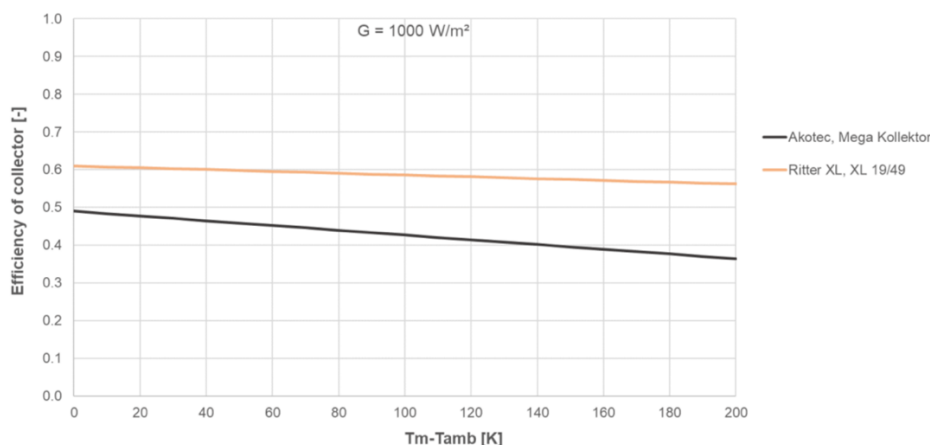
Figuur 6.11 | Collector rendement vlakke plaat collector (bron: Solites)

Over het algemeen is het rendement bij grotere temperatuurverschillen van een vlakke plaat met dubbel glas beter dan van een collector met enkel glas, omdat het extra glas de warmteverliezen naar de omgeving vermindert.



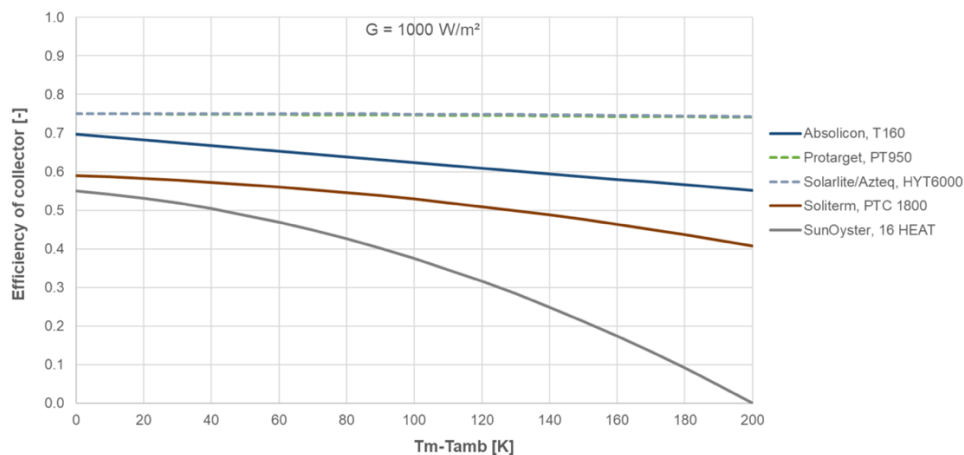
Figuur 6.12 | Collector rendement vacuüm vlakke plaat collector (bron: Solites)

Het rendement van de vacuüm vlakke plaat collector neemt bij hogere temperaturen langzamer af dan bij vlakke plaatcollectoren. Dit komt door de lage thermische verliezen als gevolg van de vacuümtechniek.



Figuur 6.13 | Collector rendement vacuümbuis collector (bron: Solites)

Bovenstaande grafiek geeft een verloop weer van een vacuümbuis collector en een vacuümbuis collector met CPC-collector. De laatste is vacuümbuis collector met een reflector aan de achterzijde. Dit resulteert in een hoger rendement dan de vacuümbuis collector.



Figuur 6.14 | Collector rendement trogspiegel collector (bron: Solites)

Sommige trogspiegel collectoren vertonen vrijwel vlakke rendementscurven in het weergegeven temperatuurbereik. Vanwege de relatief kleine diameter van de absorberbuis is het warmte-uitstralende oppervlak van concentrerende collectoren kleiner dan dat van vlakke plaat- of vacuümbuiscollector-technologieën. Dit resulteert in lagere thermische verliezen en een hoger rendement bij hogere collectortemperaturen. Grotere parabolische troggen zoals de PT950 en HYT6000 zijn het meest efficiënt, omdat ze zijn uitgerust met glas/zilveren spiegels en vacuümontvangers (in het diagram liggen de twee curven over elkaar heen). Deze hebben vrijwel geen rendementsverlies in het weergegeven temperatuurbereik.

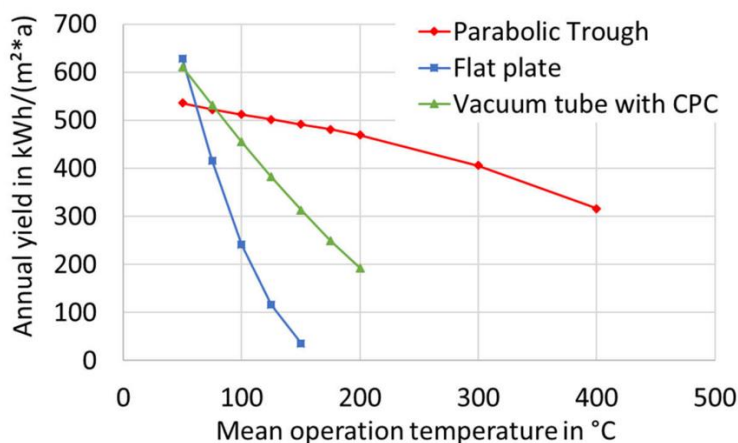
4. Warmteopbrengst profiel

Het onderstaande figuur geeft het verloop weer van de jaarlijkse specifieke warmteopbrengst per vierkante meter collectoroppervlak ($\text{kWh}/\text{m}^2\text{a}$) voor een gemiddeld collectortemperatuurbereik in Potsdam (Duitsland) die berekend is met een simulatiepakket van de DLR (Greenius) voor drie verschillende collectortypen:

- Vlakke plaat collector;
- Vacuümbuiscollector met CPC;
- Trogspiegel collector.

De verliezen in leidingen zijn meegenomen bij deze berekeningen. De oriëntatie van de trogspiegel collector is in de noord-zuid richting, collectorveld volgt de zon van oost naar west.

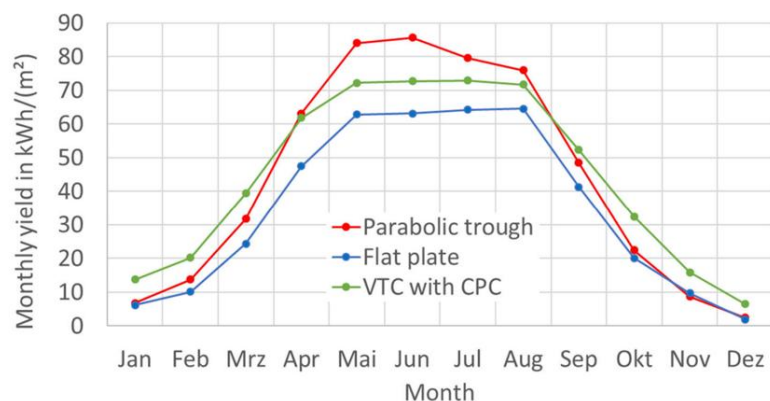
In dit figuur is een break-even punt te zien tussen 50°C en 80°C . Het voordeel zichtbaar van de trogspiegel collector ten opzichte van de andere twee types bij hogere collectortemperaturen.



Figuur 6.15 | Jaarlijkse warmteopbrengst collectoren (bron: DLR)

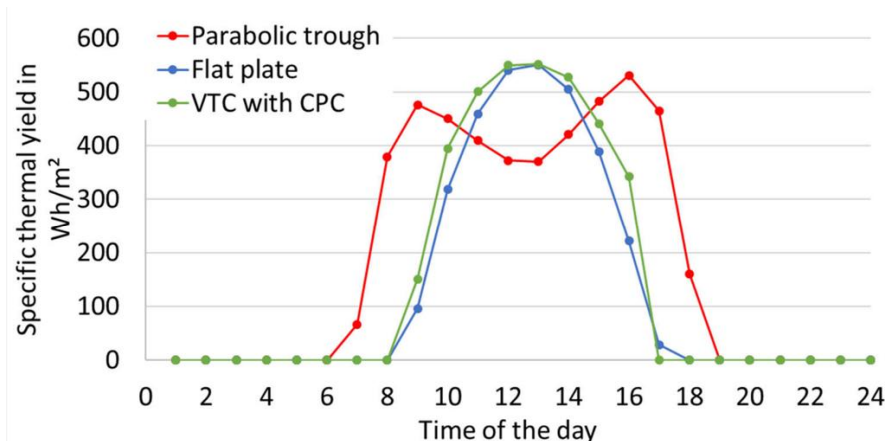
Het onderstaande figuur geeft het verloop weer van de maandelijkse warmteopbrengst per vierkante meter collectoroppervlak op dezelfde locatie bij een gemiddelde collectortemperatuur van 75°C .

De trogspiegel collector heeft een hoger piekvermogen in de zomer. De vacuümbuiscollector met CPC heeft een betere spreiding over het jaar.



Figuur 6.16 | Maandelijkse warmteopbrengst collectoren (bron: DLR)

Als we naar het uurprofiel kijken in de maand september voor dezelfde locatie voor een gemiddelde collectortemperatuur van 75°C, dan zien we dat een trogspiegel collector gedurende de ochtend en de avond een betere ligging ten opzichte van de zon dan rond het middaguur.

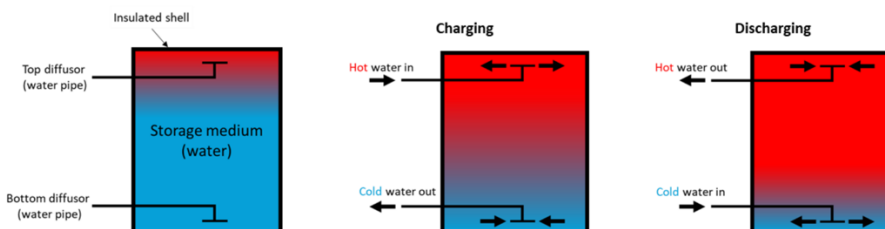


Figuur 6.17 | Warmteopbrengst uurprofiel collectoren (bron: DLR)

5. Dag-/nachtbuffer

Tank Thermal Energy Storage (TTES) omvat een breed scala aan systemen die zijn ontworpen voor het opslaan en terugwinnen van warmte met behulp van tanks. TTES wordt vaak gebruikt als dag-/nacht buffer. Meestal worden tanks bovengronds geïnstalleerd, omdat dit de investeringskosten beperkt en het onderhoud eenvoudiger maakt. De tanks kunnen ook ondergronds worden geïnstalleerd. Ondanks de hogere kosten kan het een haalbaar alternatief zijn, omdat de ruimte boven de tank dan voor een ander doel kan worden gebruikt en er weinig tot geen visuele impact is.

Het meest voorkomende interne ontwerp is waarbij het opslagmedium rechtstreeks uit de tank wordt gehaald. Dit zorgt voor een hoge stroming van het medium bij de hoogst beschikbare temperatuur. De natuurlijke gelaagdheid van het water maakt een relatief lange extractieperiode mogelijk bij temperaturen dichtbij de laadtemperatuur. Om een goede gelaagdheid te behouden, moeten de diffusers een laminaire inlaatstroming bieden en moet de tank voldoende hoog zijn. Deze tanks zijn drukloos met maximale temperaturen tot ca. 95 graden Celsius.



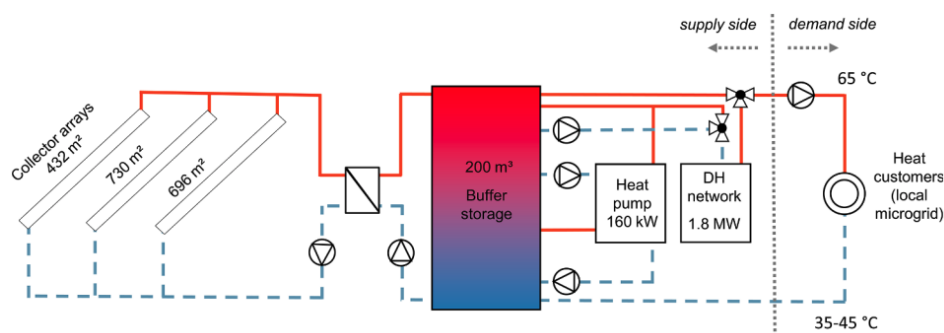
Figuur 6.18 | Illustratie van het laden en ontladen van een TTES (bron: PlanEnergi)

Deze TTES zijn zogenaamde thermocline opslagtanks oftewel gestratificeerde tanks waarin zich diverse temperatuurlagen bevinden. Een thermocline opslagtank bestaat uit drie zones naast elkaar in de tank: een hete vloeistofzone bovenaan, een koude vloeistofzone onderaan en een tussenliggende zone die thermocline wordt genoemd.

Voor specifieke toepassingen is het ook mogelijk om met warmtewisselaars warmte in en uit een tank over te dragen, verdeeld over de hoogte van de tank. Dit soort compromissen wordt gemaakt wanneer het mengen van het opslagmedium en het secundaire medium ongewenst is, bijvoorbeeld als er problemen zijn met de druk of de chemische samenstelling. Sommige tanks kunnen worden uitgerust met een verwarmingselement wanneer hogere temperaturen vereist zijn.

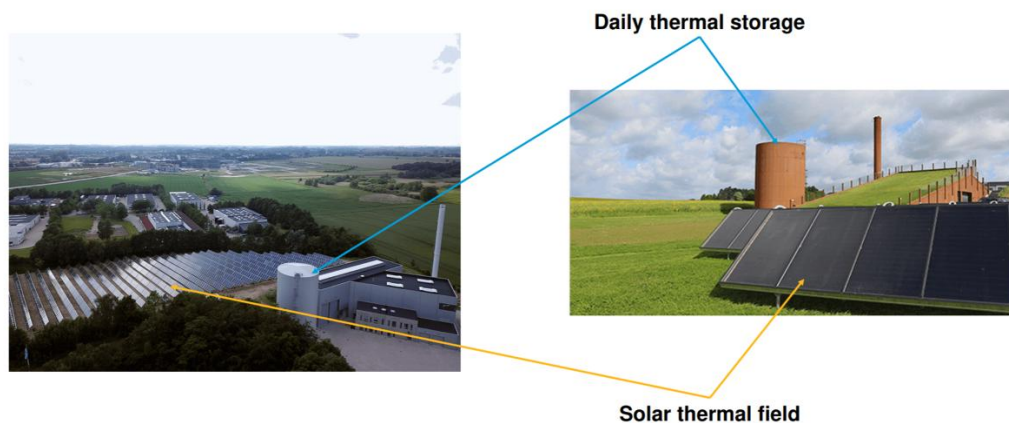
TTES is commercieel gebruikt in verschillende toepassingen, waaronder stadsverwarming, kassen, energiecentrales en industriële processen.

Figuur 6.19 geeft een voorbeeld van een zonthermiepark gekoppeld met een dagbuffer en een warmtenet.



Figuur 6.19 | Principeschema van Salzburg Lehen. (bron: AEE INTEC).

In Figuur 6.20 zijn twee voorbeelden van een TTES afgebeeld.



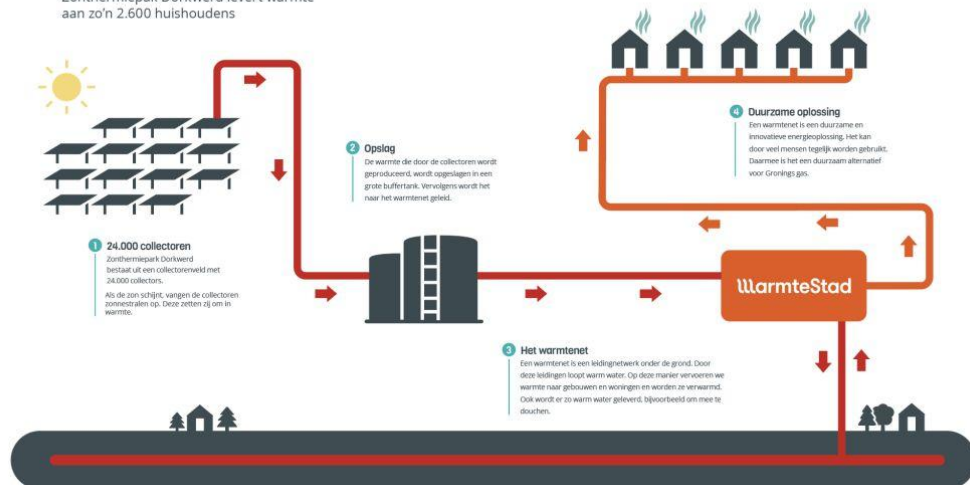
Figuur 6.20 | Afbeeldingen van een dag-/nachtbuffer bij een zonthermiepark gekoppeld aan een warmtenet in Denemarken (bron: PlanEnergi).

In 2024 werd het grootste zonthermiepark (ca. 12 hectare) van Nederland, vlak bij Groningen, in bedrijf genomen. Dit zonthermiepark bestaat uit 24.000 vacuüm vlakke plaat collectoren en een dagbuffer met een volumen van 6.000 m³ en levert warmte aan een MT-warmtenet. Deze installatie heeft een piekvermogen van 37 MW_{th}, levert temperaturen tussen 69 en 93 °C, en zal naar verwachting jaarlijkse 25 GWh (25% van de totale warmtevraag) aan het warmtenet leveren. Een vereenvoudigd principeschema staat in Figuur 6.21. Overvloedige zonnewarmte wordt gebruikt om de WKO (MTO) te regenereren. Figuur 6.22 toont een foto met vogelperspectief van het zonthermiepark.

Zonthermie in beeld

Wat komt er allemaal bij zonthermiewerk Dorkwerd kijken?

Zonthermiewerk Dorkwerd levert warmte aan zo'n 2.600 huishoudens



Figuur 6.21 | Principeschema Zonthermiewerk Dorkwerd (bron: Novar).



Figuur 6.22 | Afbeelding zonthermiewerk Dorkwerd (bron: construct-id.nl).

Bijlage 5 Technische uitgangspunten

Tabel 7 | Operationele condities van het ondergronds model.

Parameter	Eenheid	Waarde
Infiltratietemperatuur warme bron	°C	45
Infiltratietemperatuur lauwe bron	°C	15
Afkaptemperatuur	°C	20
Volume laden	m ³	62.000
Volume leveren	m ³	75.000
Start laadseizoen	-	1 mei
Start leverseizoen	-	1 oktober
Debiet laadseizoen	m ³ /d	405
Debiet leverseizoen	m ³ /d	354

Tabel 8 | Input van het bovengronds model.

Parameter	Eenheid	Waarde
Warmtenet		
Warmtevraag	MWh _{th}	4.290
Piekvermogen	MW _{th}	2,36
Aanvoertemperatuur	°C	75
Retourtemperatuur	°C	40
MTO		
Start laadseizoen	-	1 mei
Start leverseizoen	-	1 oktober
Laadtemperatuur warme bron	°C	45
Laadtemperatuur lauwe bron	°C	15
Afkaptemperatuur	°C	20
Opslagrendement	-	80%
Factor volume terugleveren	-	120%
Warmtepomp		
Aantal trappen	-	2
Condensor intrede temp.	°C	40
Condensor uittrede temp.	°C	75
Verdamper uittrede temp.	°C	13
LMTD condensor & verdamper	°C	2,5
Systeem rendement	-	55%
Max. COP (verdamper intrede temp. is 45°C)	-	3,74

Bijlage 6 Technische resultaten

Tabel 9 | Resultaten van het bovengronds model.

Parameter	Eenheid	Vlakke plaat	Vacuüm Vlakke Plaat	Vacuüm-buis met CPC	Trog-spiegel
Zonnewarmte					
Warmteproductie	MWh _{th}	3.854*	3.873*	3.867*	3.775*
Piekvermogen	MW _{th}	5,90*	4,43*	4,41*	6,30*
Collector oppervlakte	m ²	8.400*	5.900*	7.800*	9.450*
MTO					
Warmte leveren	MWh _{th}	1.757	1.637	1.650	2.028
Piekvermogen leveren	MW _{th}	0,86	0,86	0,86	0,86
Warmte laden	MWh _{th}	2.198	2.051	2.061	2.533
Piekvermogen laden	MW _{th}	1,41	1,16	1,13	2,36
Volume leveren	m ³	75.253	69.983	70.815	87.032
Volume laden	m ³	62.840	58.637	58.920	72.417
Max. debiet leverseizoen	m ³ /h	55	55	56	62
Max. debiet laadseizoen	m ³ /h	41	33	32	68
Elektriciteitsverbruik	MWh _e	71	66	66	82
Warmtepomp					
Warmte leveren MTO + WP	MWh _{th}	2.432	2.265	2.284	2.807
Piekvermogen MTO + WP	MW _{th}	1,18	1,18	1,18	1,18
SCOP	-	3,60	3,61	3,60	3,60
Elektriciteitsverbruik	MWh _e	675	628	634	779
Piekvoorziening					
Warmteproductie	MWh _{th}	198	198	198	198
Piekvermogen	MW _{th}	1,18	1,18	1,18	1,18

*Voorlopige waardes. Definitieve waardes voor de financiële analyse staan in Tabel 3 in Bijlage 2.



Figuur 6.23 | Indicatief schetsontwerp zonnewarmte + MTO in Everdingen.

Bijlage 7 Zonnewarmte resultaten

Deze bijlage bevat de resultaten van de berekeningen m.b.t. zonnewarmte voor de volgende collectoren:

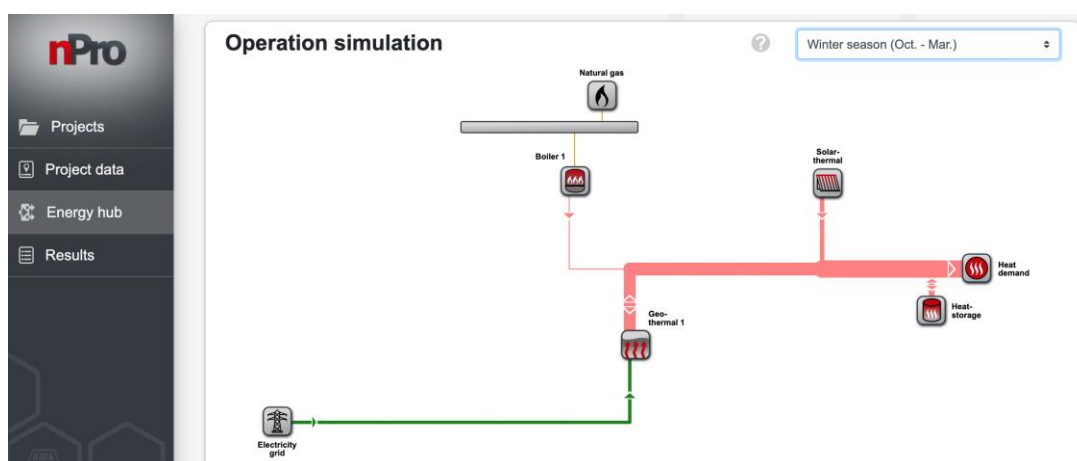
1. Vlakke plaatcollector
2. Vacuüm vlakke plaatcollector
3. Vacuümbuiscollector (CPC)
4. Trogspiegelcollector

De resultaten van de simulatie met het softwarepakket nPro voor de verschillende collectortypes worden hieronder afgebeeld.

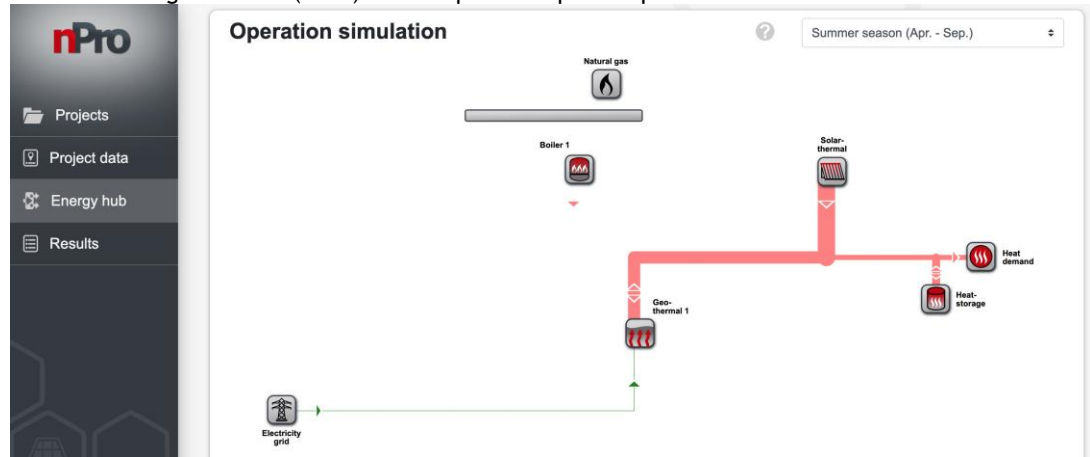
De resultaten voor het zonthermieveld uit nPro gelden voor de collectoren en zijn zonder warmteverlies van het zonthermieveld vanaf de collectoren tot en met de warmtewisselaar naar het warmtenet. Voor de quickscan en de resultaten voor de verschillende zonnecollectoren is er rekening gehouden met het warmteverlies in het zonthermieveld, vanaf het collectorveld tot en met de warmtewisselaar in de technische ruimte.

1. Vlakke plaat collector

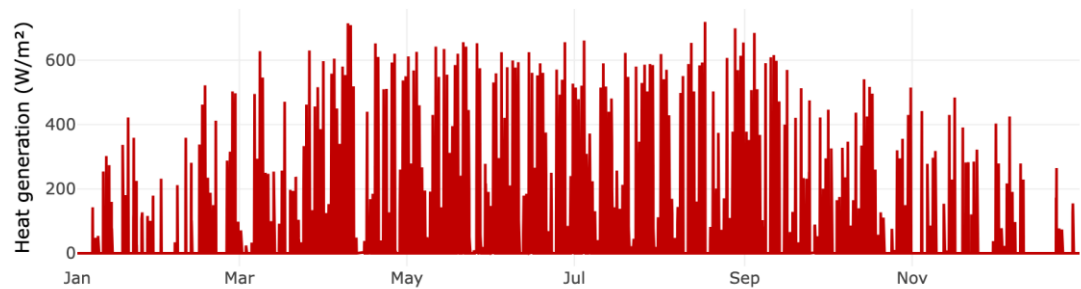
De totale energiestromen voor de periode oktober - maart wordt hieronder weergegeven. (Groen staat voor elektriciteit, rood staat voor warmte, de dikte van de lijn geeft de hoeveelheid aan in MWh)



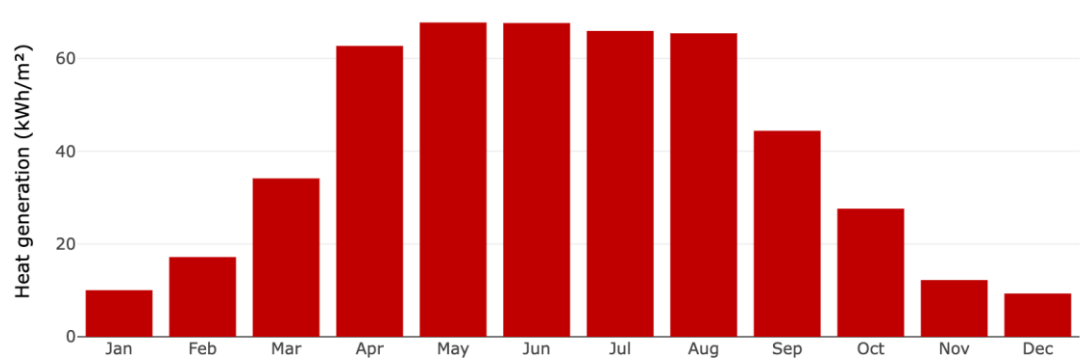
De totale energiestromen (MWh) voor de periode april - september:



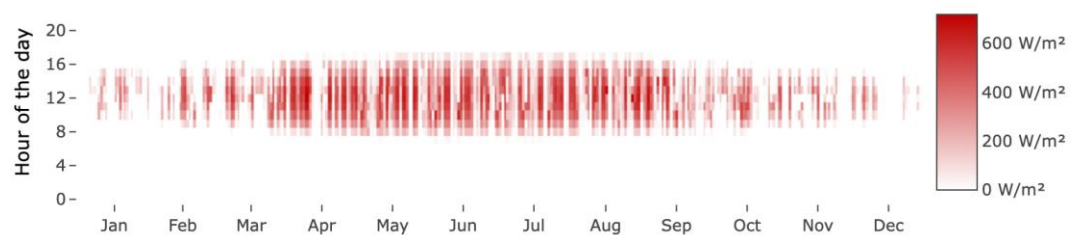
Jaarlijks warmteproductieprofiel zonnecollectoren:



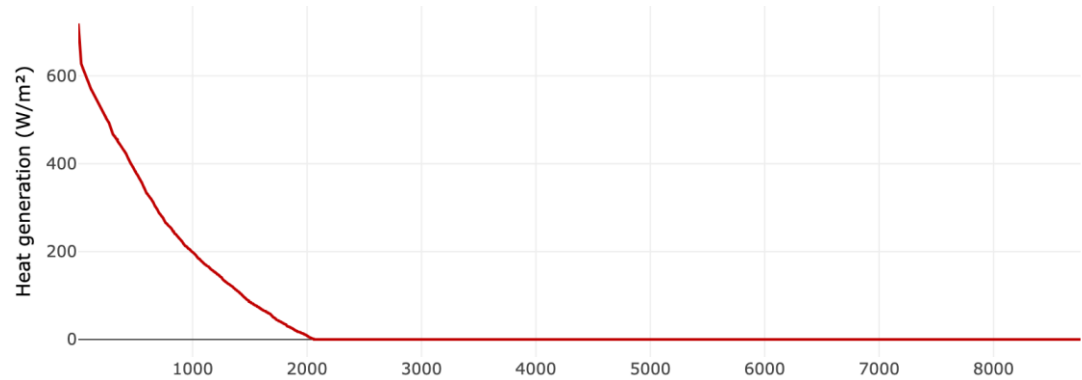
Maandelijks warmteproductieprofiel zonnecollectoren:



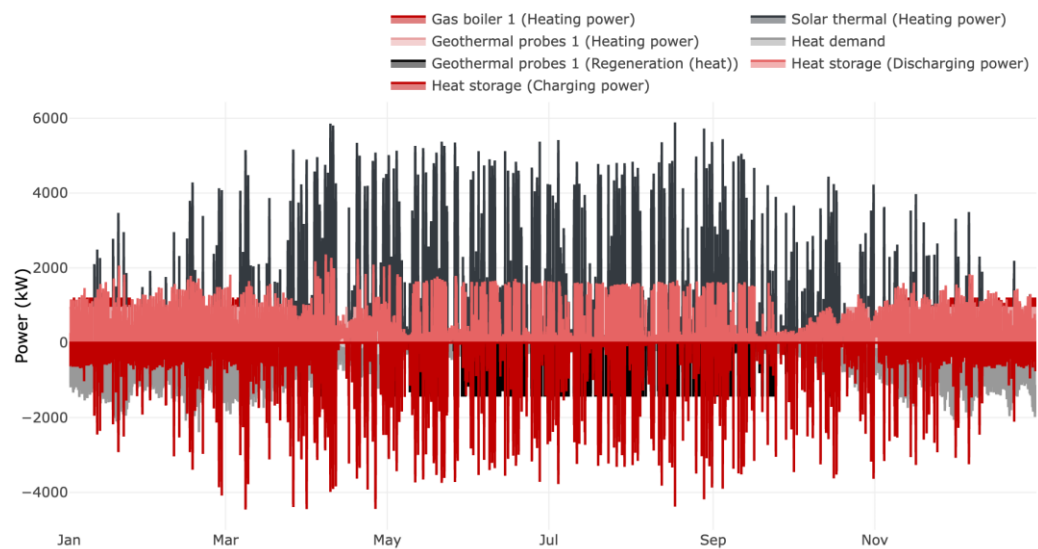
Jaarlijks warmteproductieprofiel zonnecollectoren gedurende de dag:



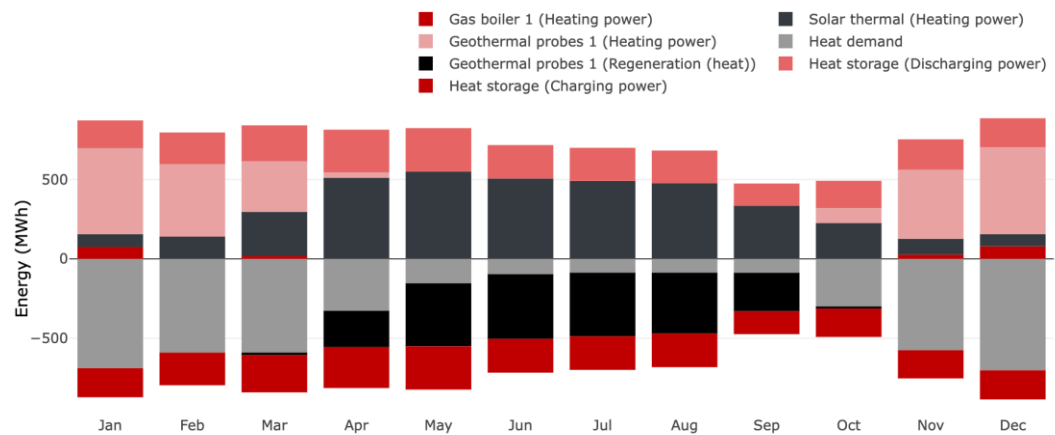
Jaarbelastingduurkromme zonnecollectoren:



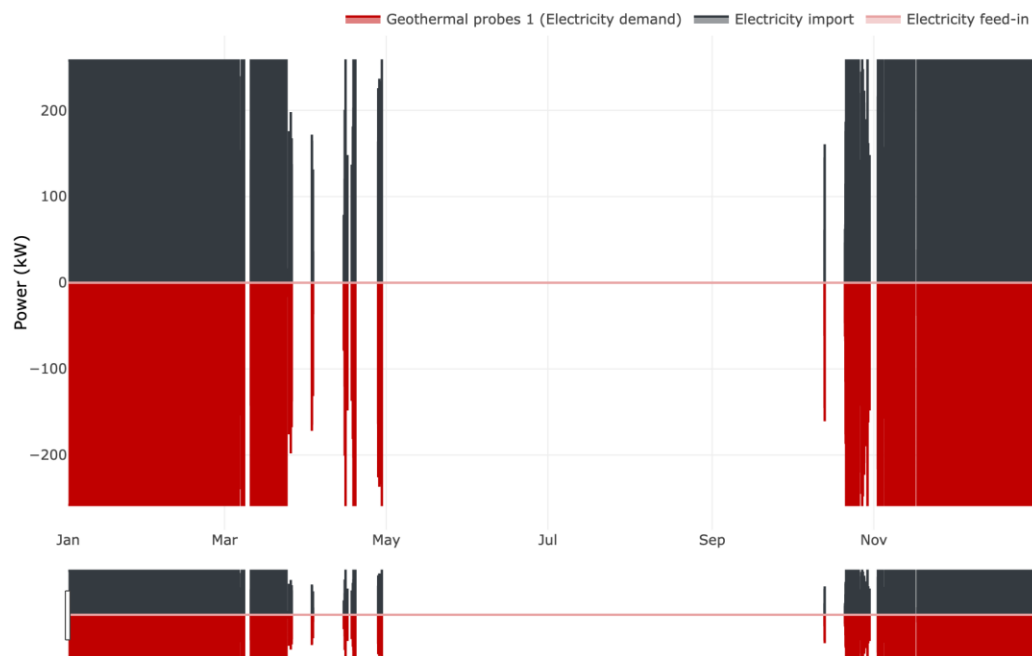
Jaarlijks overzicht warmtevraag en warmteproductie:



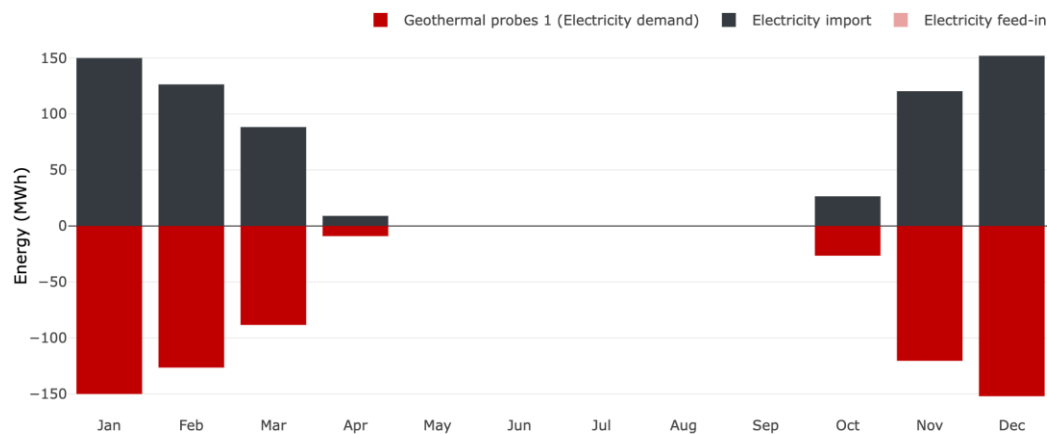
Maandelijks overzicht warmtevraag en warmteproductie:



Jaarlijks overzicht elektriciteitsvraag:

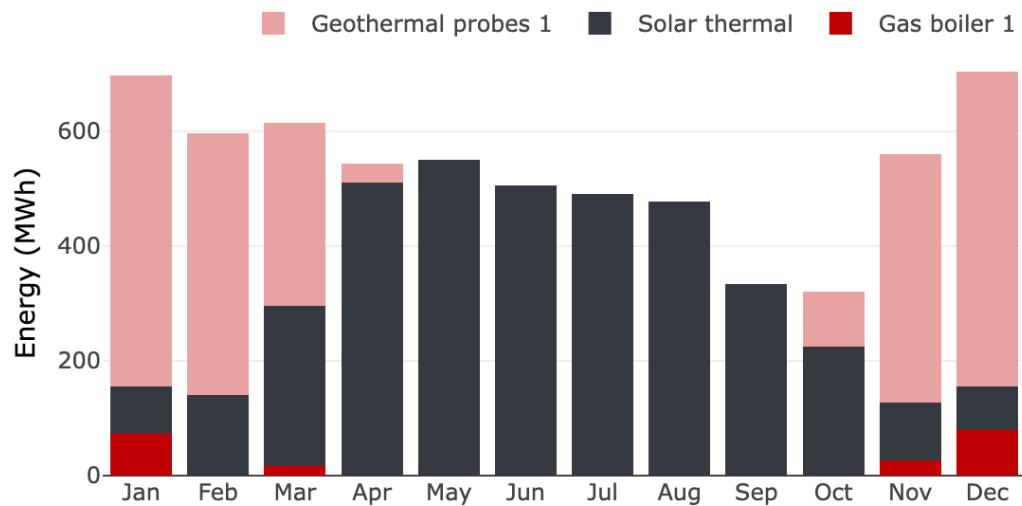


Maandelijks overzicht elektriciteitsvraag:



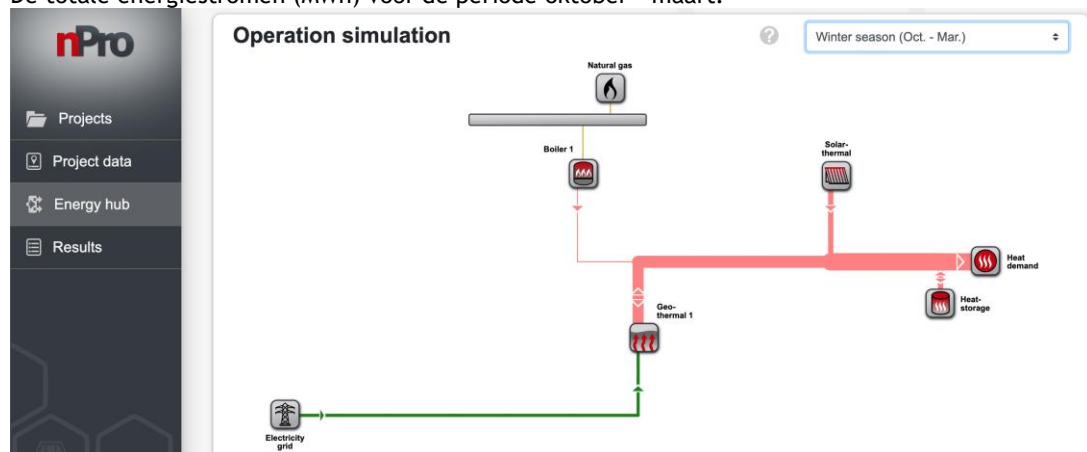
Verdeling warmteproductie:

Technology	Annual sum	Share
Gas boiler 1	198 MWh	3.1 %
Solar thermal	3,770 MWh	59 %
Geothermal probes 1	2,427 MWh	38 %
Solar thermal coverage rate		59 %

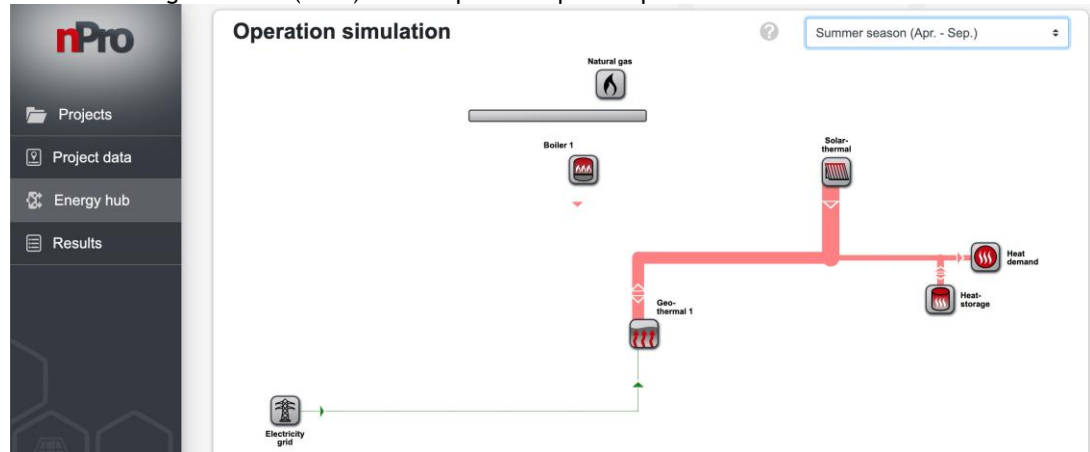


2. Vacuüm vlakke plaat collector

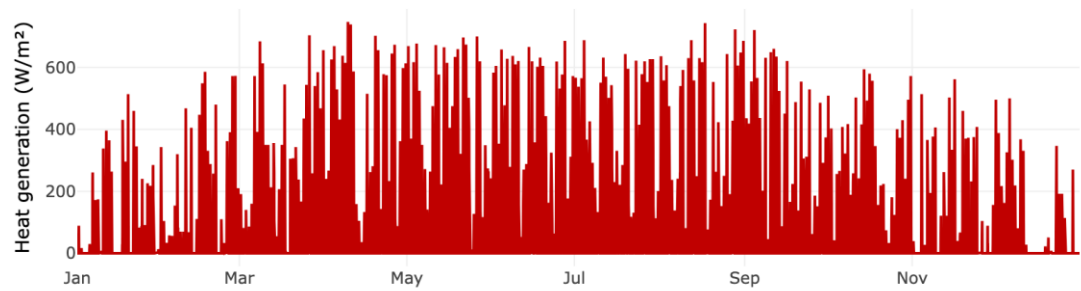
De totale energiestromen (MWh) voor de periode oktober - maart:



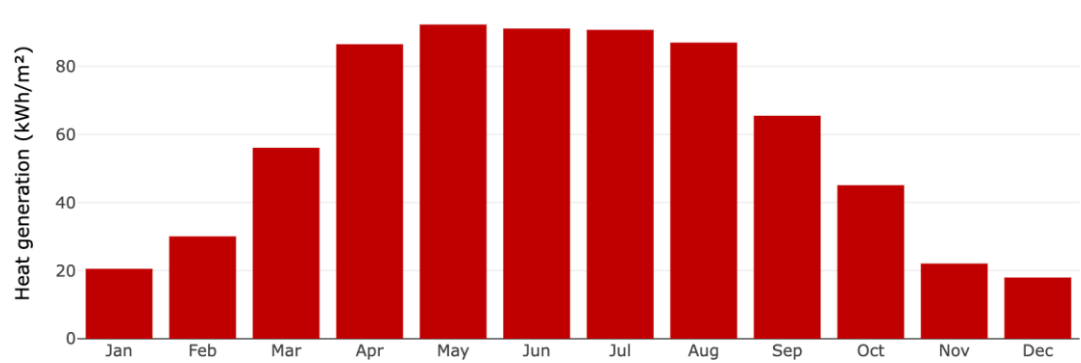
De totale energiestromen (MWh) voor de periode april - september:



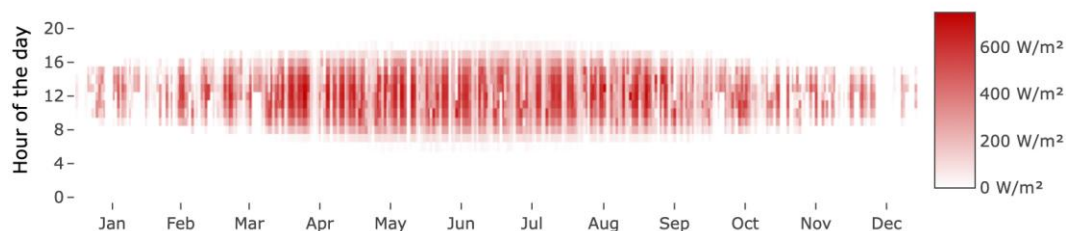
Jaarlijks warmteproductieprofiel zonnecollectoren:



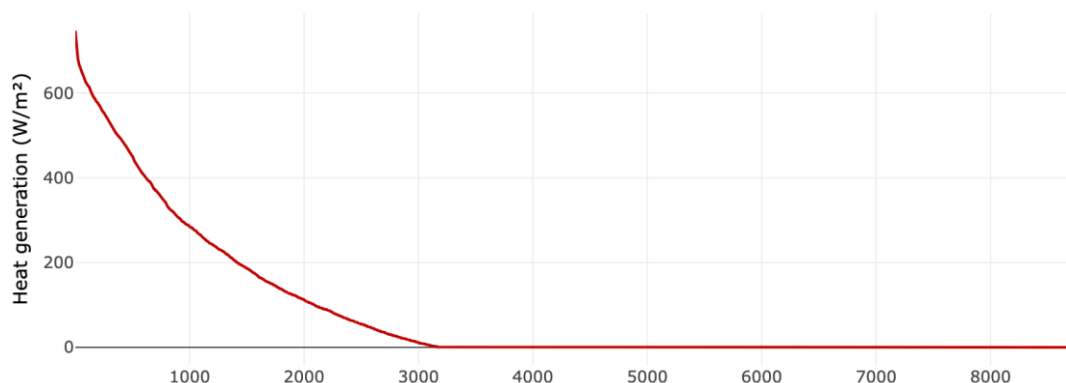
Maandelijks warmteproductieprofiel zonnecollectoren:



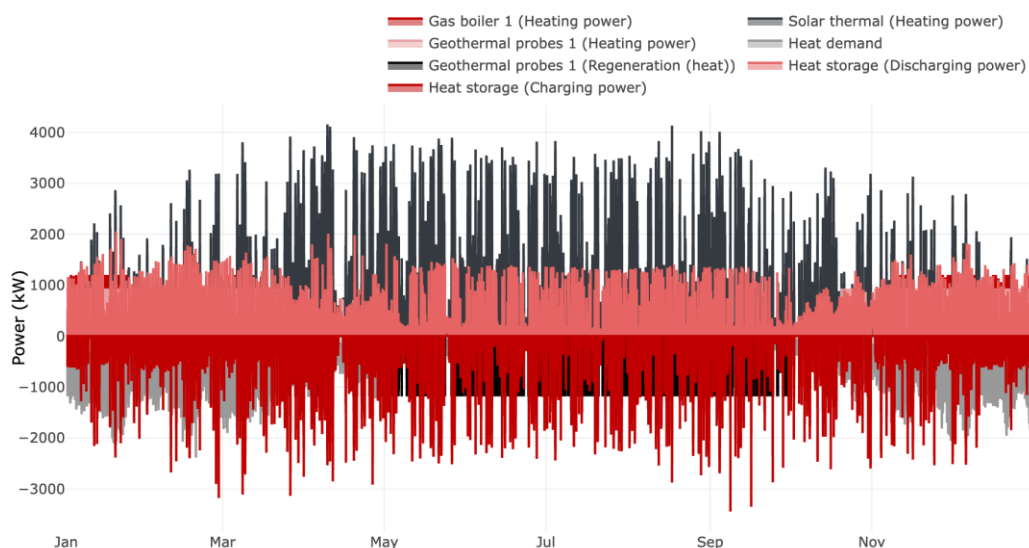
Jaarlijks warmteproductieprofiel zonnecollectoren gedurende de dag:



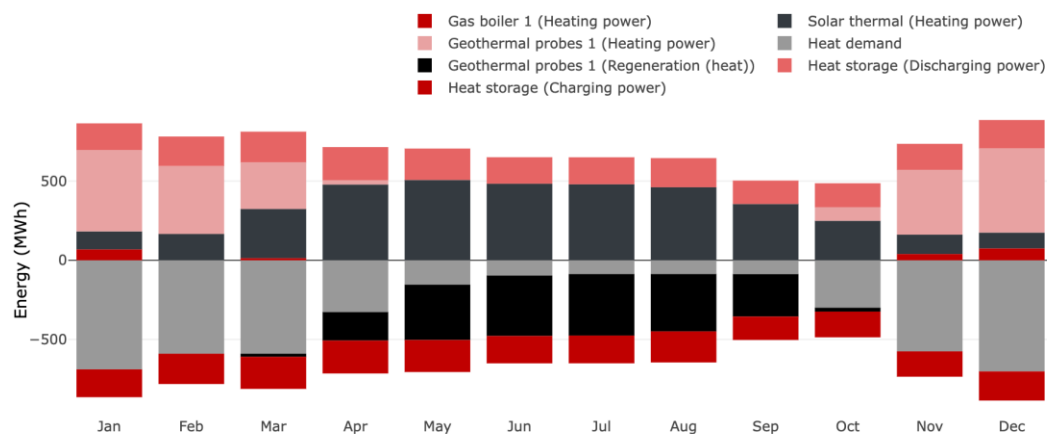
Jaarbelastingduurkromme zonnecollectoren:



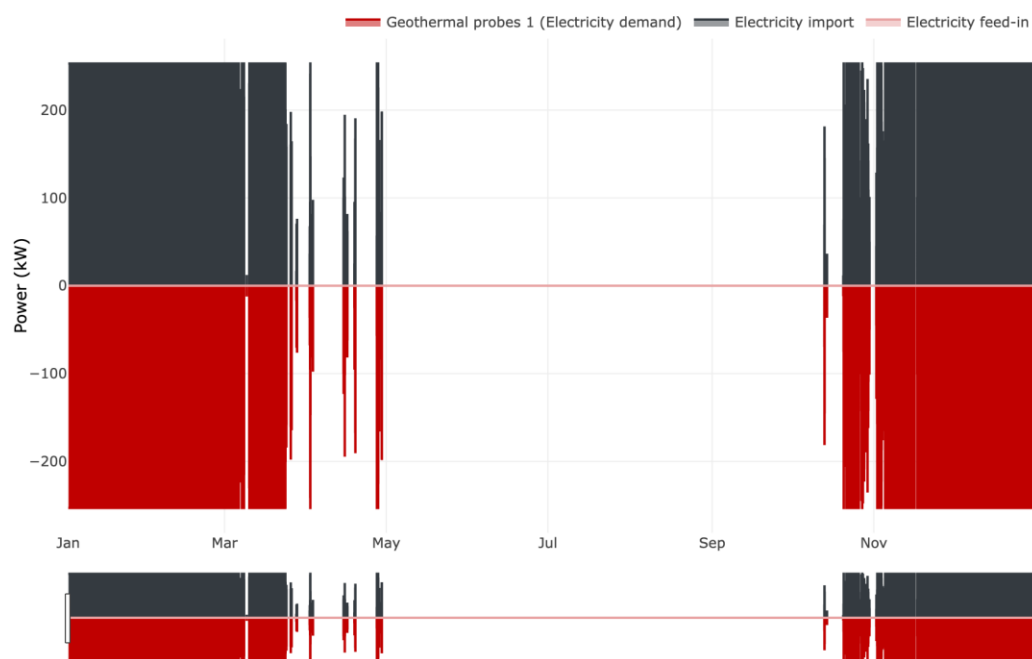
Jaarlijks overzicht warmtevraag en warmteproductie:



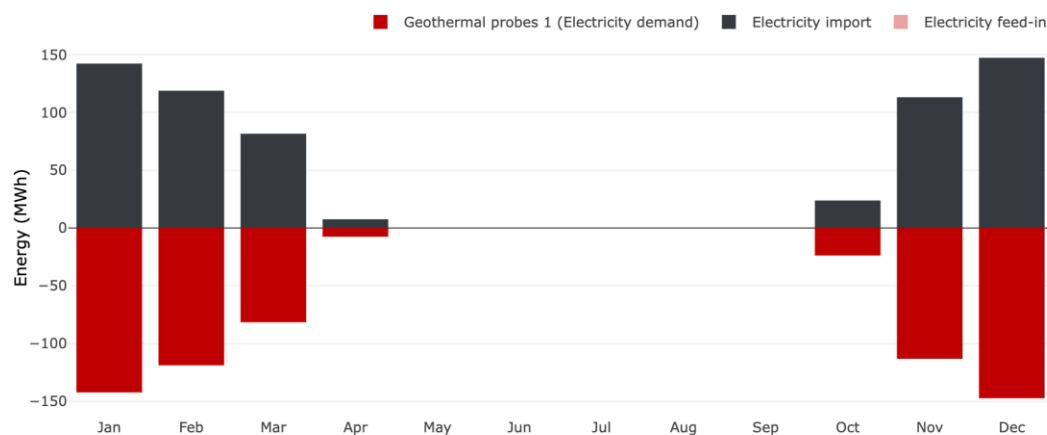
Maandelijks overzicht warmtevraag en warmteproductie:



Jaarlijks overzicht elektriciteitsvraag:

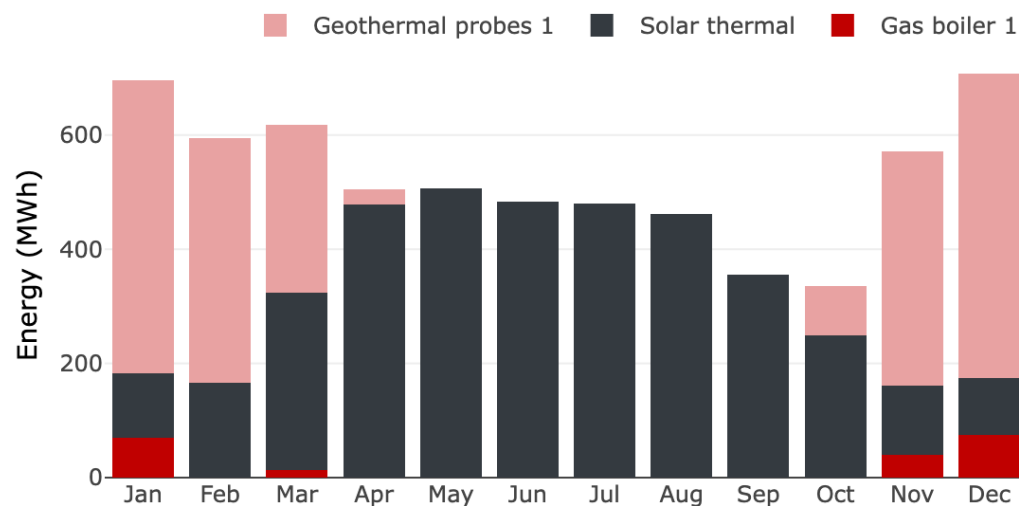


Maandelijks overzicht elektriciteitsvraag:



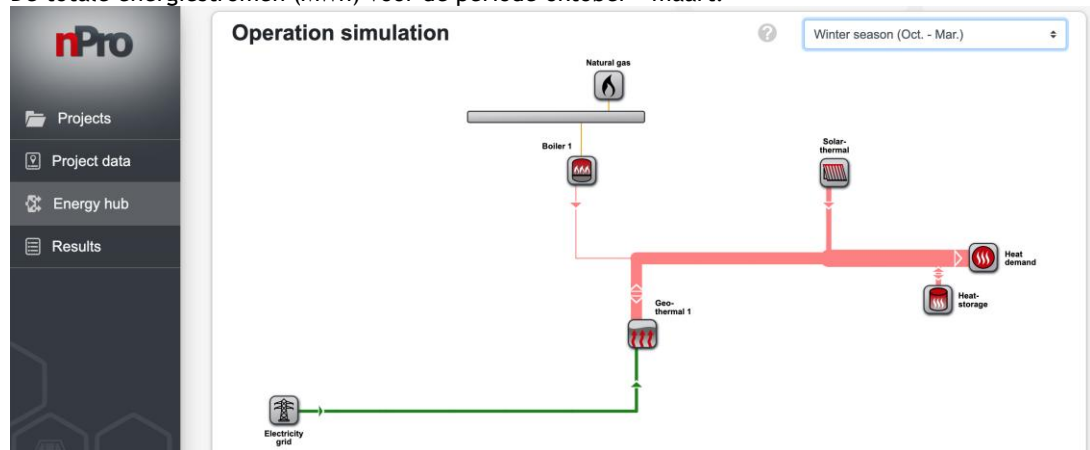
Verdeling warmteproductie:

Technology	Annual sum	Share
Gas boiler 1	198 MWh	3.1 %
Solar thermal	3,827 MWh	60.6 %
Geothermal probes 1	2,292 MWh	36.3 %
Solar thermal coverage rate		60.6 %

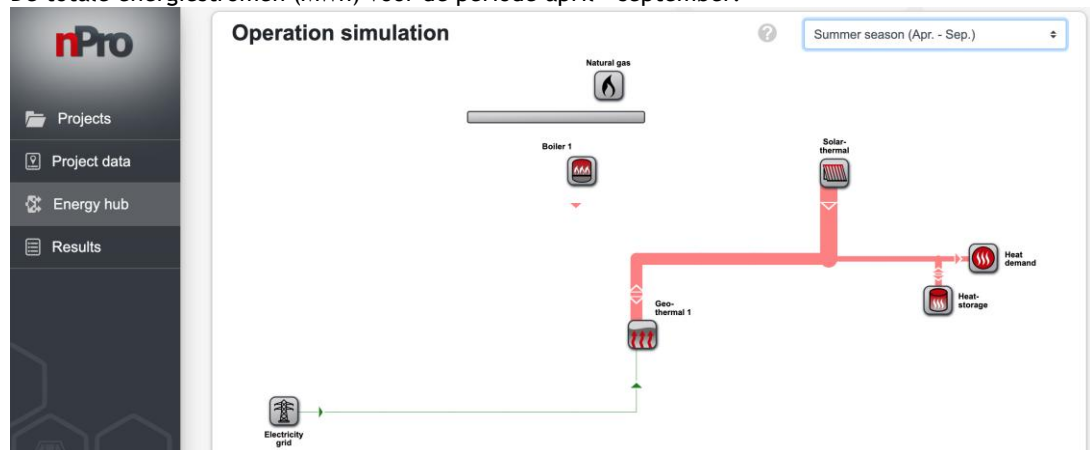


3. Vacuümbuiscollector (CPC)

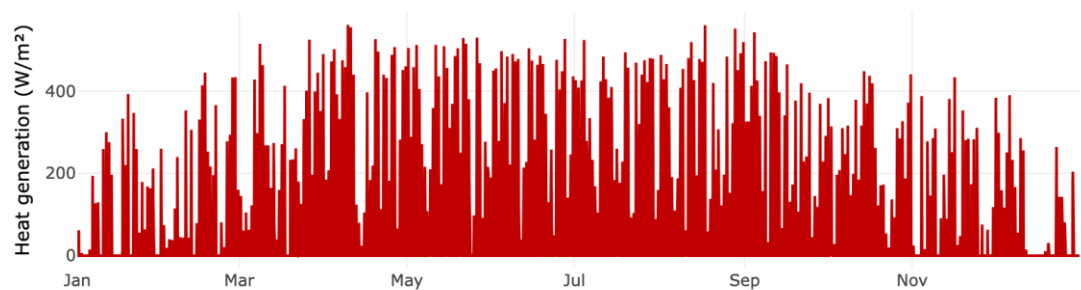
De totale energiestromen (MWh) voor de periode oktober - maart:



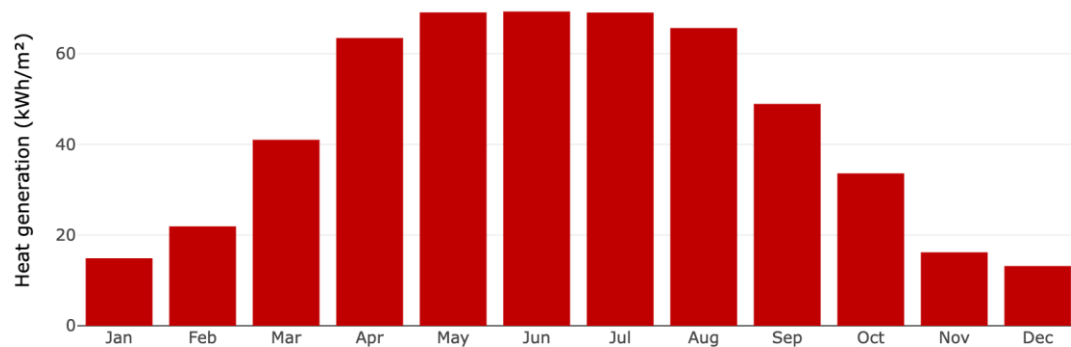
De totale energiestromen (MWh) voor de periode april - september:



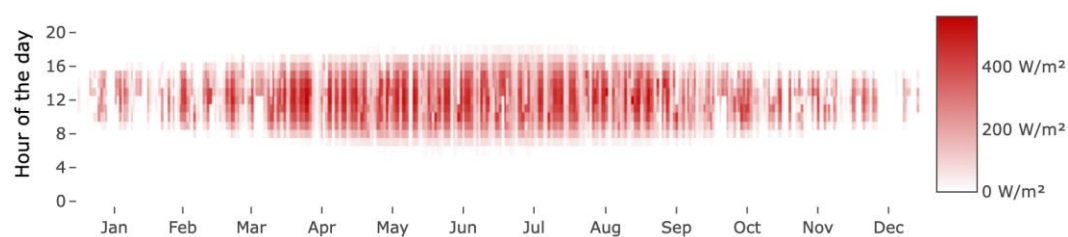
Jaarlijks warmteproductieprofiel zonnecollectoren:



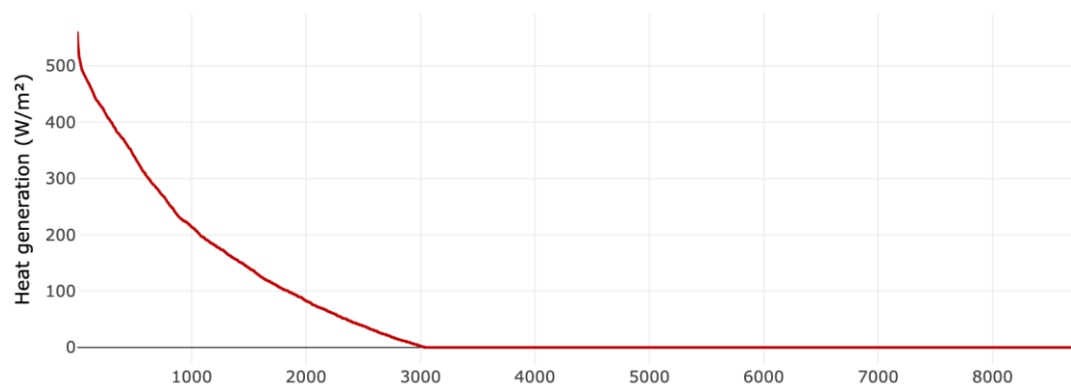
Maandelijks warmteproductieprofiel zonnecollectoren:



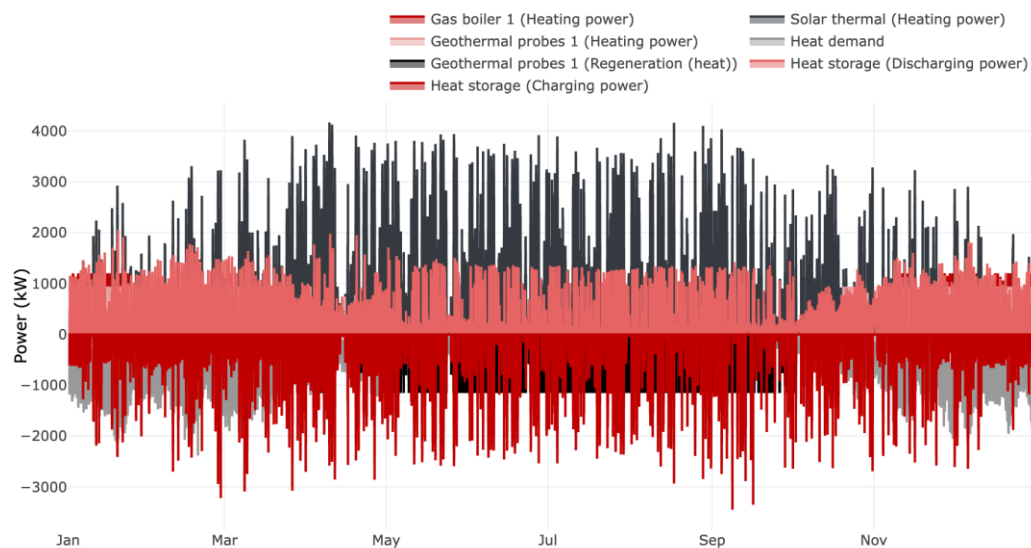
Jaarlijks warmteproductieprofiel zonnecollectoren gedurende de dag:



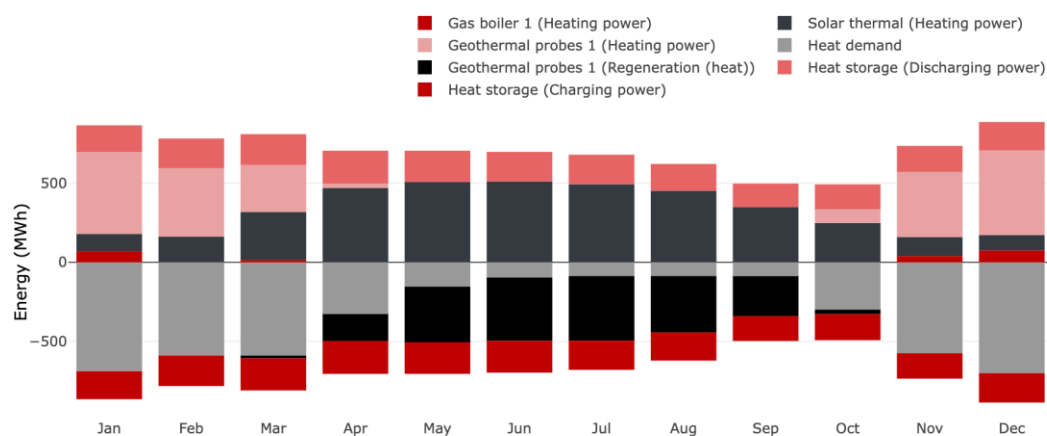
Jaarbelastingduurkromme zonnecollectoren:



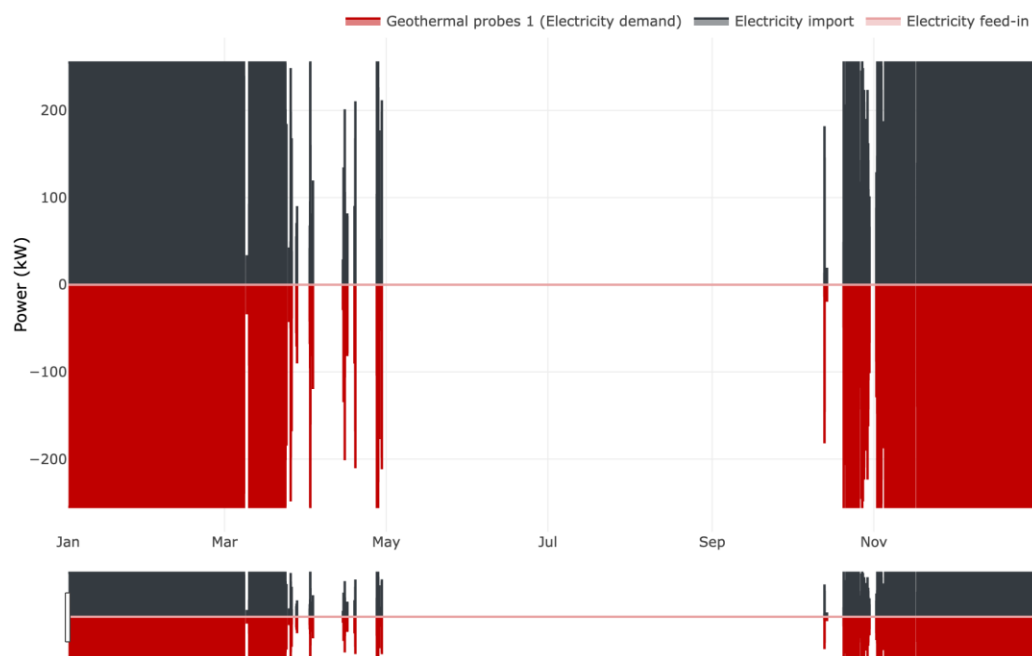
Jaarlijks overzicht warmtevraag en warmteproductie:



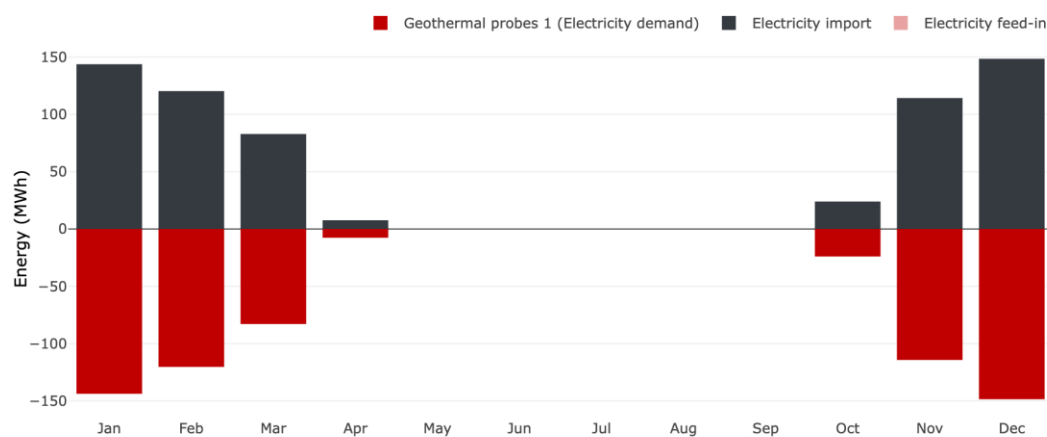
Maandelijks overzicht warmtevraag en warmteproductie:



Jaarlijks overzicht elektriciteitsvraag:

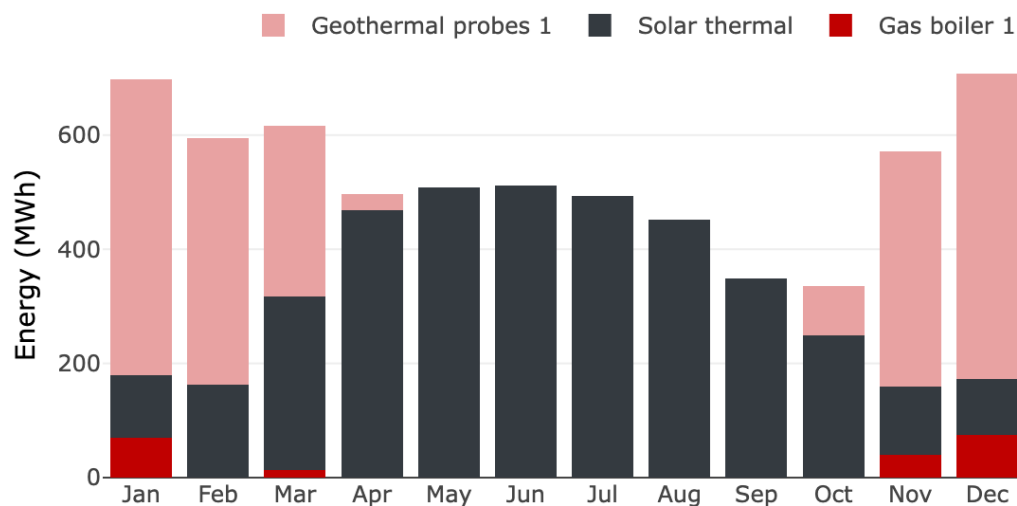


Maandelijks overzicht elektriciteitsvraag:



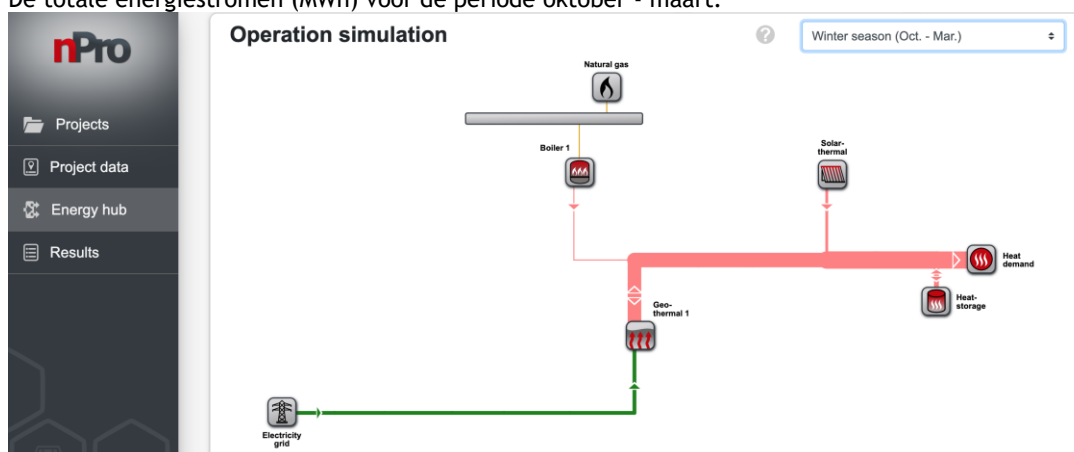
Verdeling warmteproductie:

Technology	Annual sum	Share
Gas boiler 1	198 MWh	3.1 %
Solar thermal	3,824 MWh	60.4 %
Geothermal probes 1	2,309 MWh	36.5 %
Solar thermal coverage rate		60.4 %

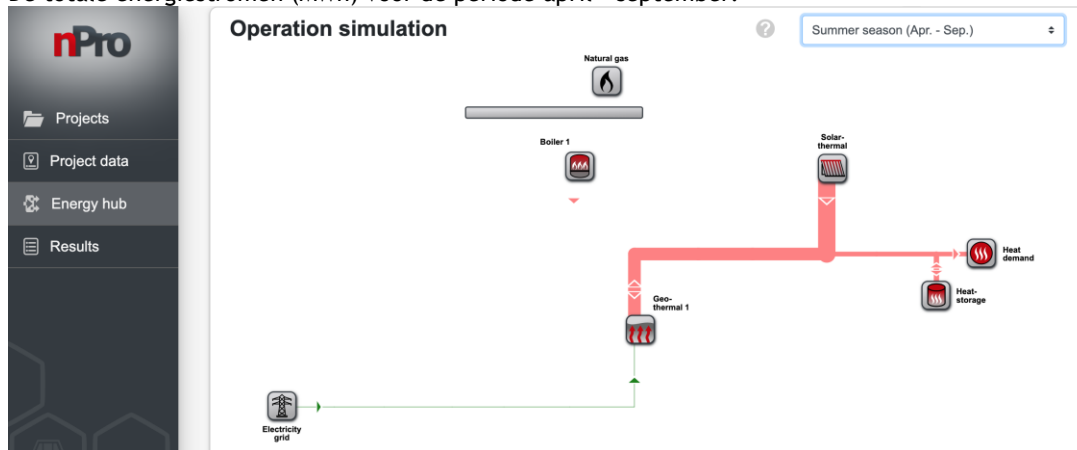


4. Trogspiegelcollector

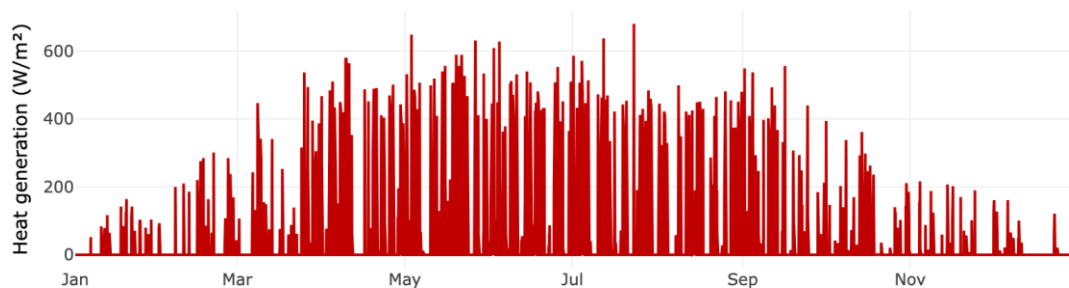
De totale energiestromen (MWh) voor de periode oktober - maart:



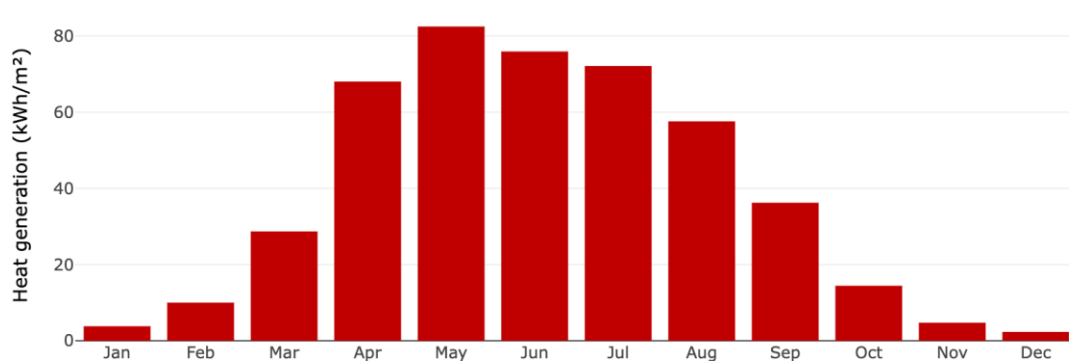
De totale energiestromen (MWh) voor de periode april - september:



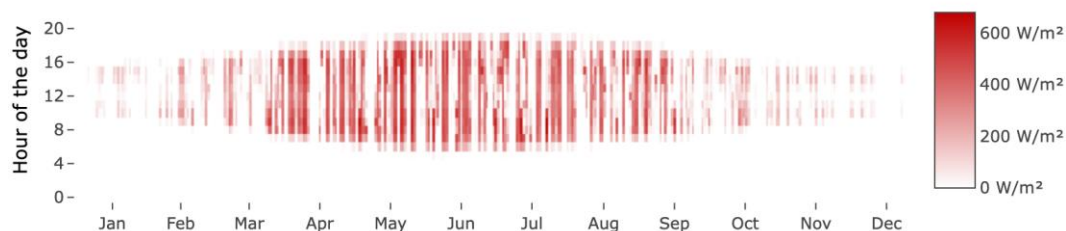
Jaarlijks warmteproductieprofiel zonnecollectoren:



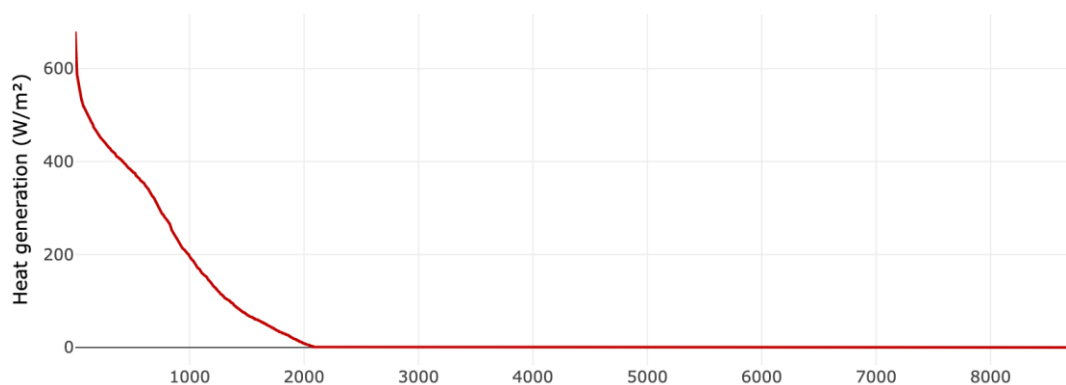
Maandelijks warmteproductieprofiel zonnecollectoren:



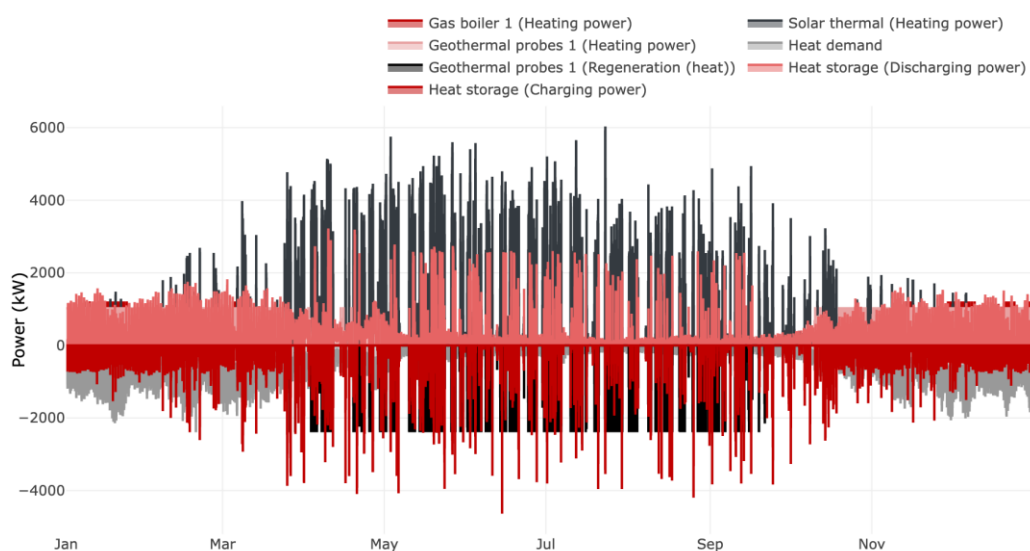
Jaarlijks warmteproductieprofiel zonnecollectoren gedurende de dag:



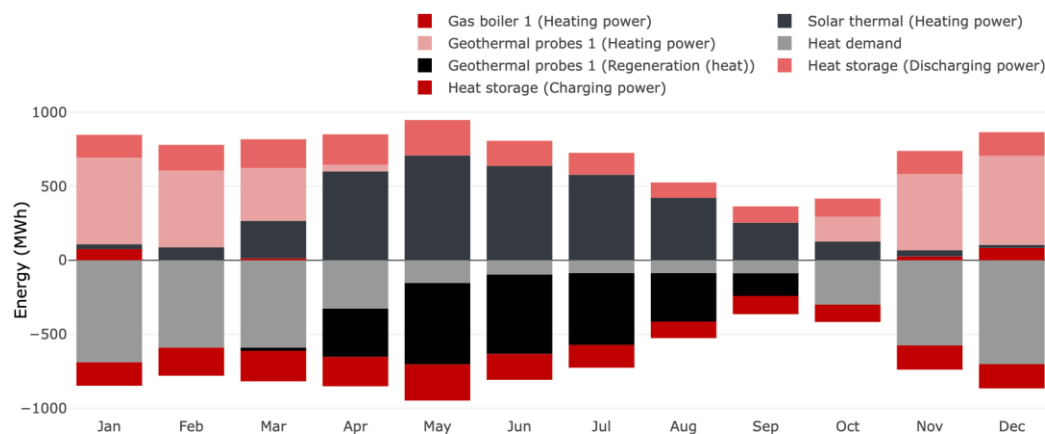
Jaarbelastingduurkromme zonnecollectoren:



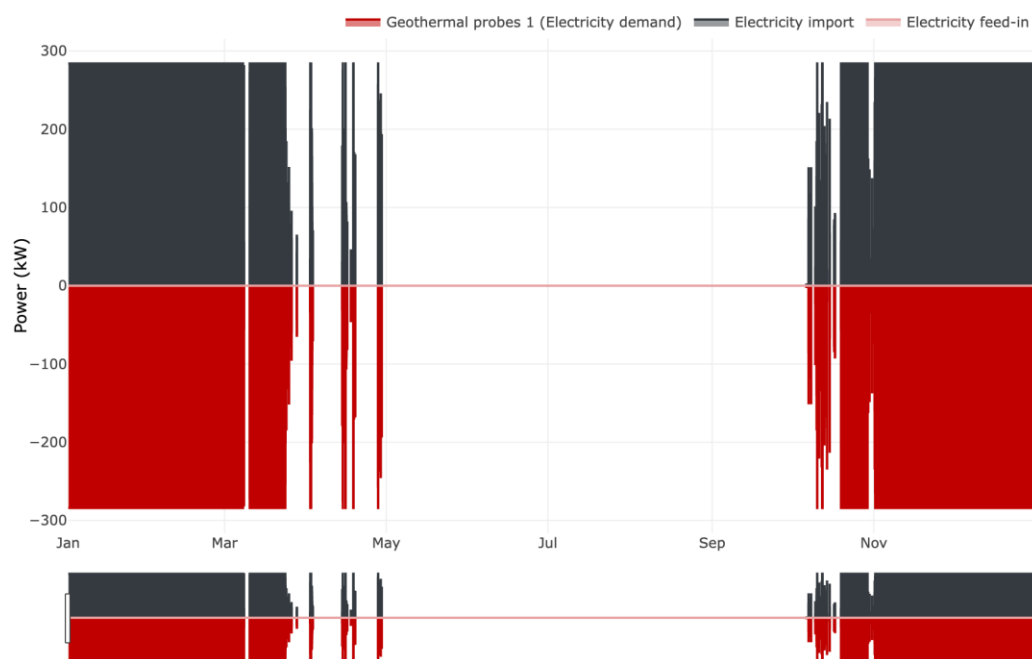
Jaarlijks overzicht warmtevraag en warmteproductie:



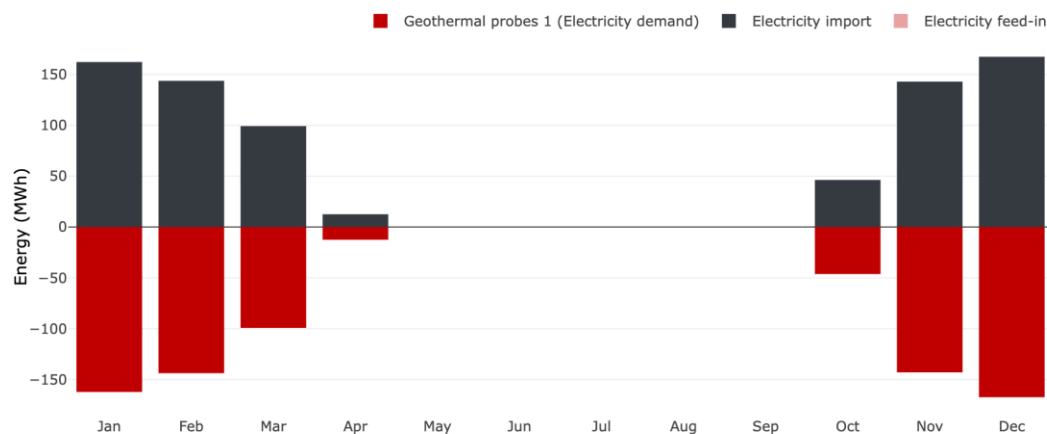
Maandelijks overzicht warmtevraag en warmteproductie:



Jaarlijks overzicht elektriciteitsvraag:

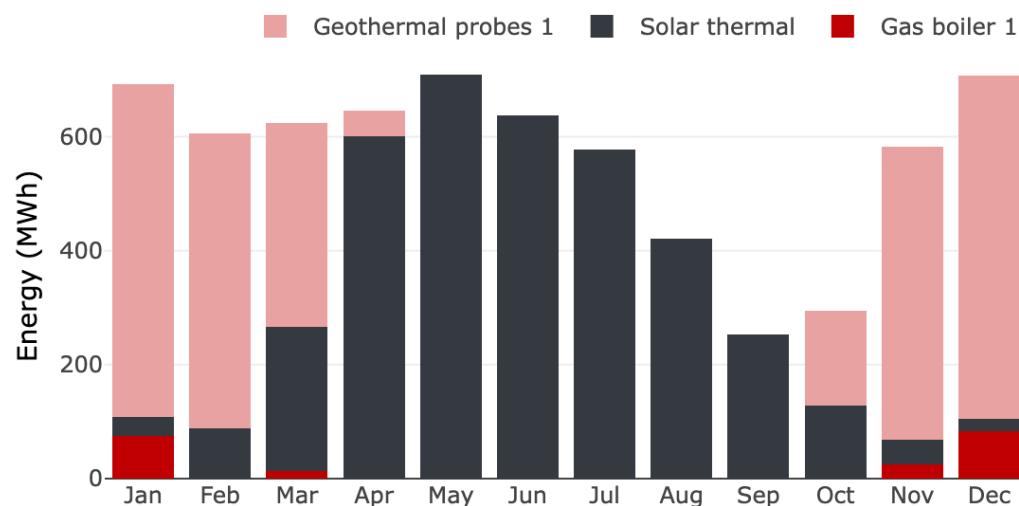


Maandelijks overzicht elektriciteitsvraag:



Verdeling warmteproductie:

Technology	Annual sum	Share
Gas boiler 1	198 MWh	2.9 %
Solar thermal	3,764 MWh	55.8 %
Geothermal probes 1	2,787 MWh	41.3 %
Solar thermal coverage rate		55.8 %



Bijlage 8 Biodiversiteit

door Sietse de Haan en Mieke Weterings, VZKC

DE ZONNEWEIDE EN BIODIVERSITEIT

De ontwikkeling van zonthermische systemen ten behoeve van (lokale) warmtenetten is klimaatpositief, en mag ruimte kosten. Het is bij het innemen van een landelijk gelegen terrein wel nodig beschermde diersoorten en andere aanwezige ecologische kwaliteiten in stand te houden. Daar horen ook vergunningen en ontheffingen bij. Daarnaast is het mogelijk om met de inrichting en het beheer van de zonneweide een rijk ecosysteem op gang te brengen. Eventueel wordt een biodiverse zonneweide gecombineerd met andere nuttige of prettige functies, en met maatregelen voor een aantrekkelijk aanzicht vanuit de omgeving.

In paragraaf 1 schetsen we in 3 x 3 punten wat initiatiefnemers zich ter harte moeten en kunnen nemen, van wettelijk verplicht tot en met inspirerend en toekomstgericht. Op enkele van deze punten gaan we wat dieper in, omdat ze van toepassing zijn in de oriëntatie- en haalbaarheidsfase. Een basale factor voor vegetatie-ontwikkeling is zonneschijn op de bodem. De keuze voor collectorplaten of trogspiegels en het bepalen van de afstand tussen de rijen hebben hier grote invloed op. Trogspiegels zijn gunstiger voor belichting en beregening van de bodem dan plaatcollectoren. Dit wordt toegelicht in paragraaf 2. Tenslotte staan er in paragraaf 3 verwijzingen naar meer informatie en deskundigen.



Figuur 6.24 | Trogspiegel-installatie van Aztec bij Avery Dennison in Turnhout, met dubbelgebruik als schapenweide.

PARAGRAAF 1. 3 X 3 PUNTEN VAN AANDACHT VOOR NATUUR EN BIODIVERSITEIT

Bij het maken van plannen voor de zonneweide kan in stappen aandacht worden besteed aan het beschermen en versterken van natuur en biodiversiteit.

Verplichte voorbereidingen

Deze verplichte voorbereidingen zijn altijd van toepassing, los van de keuze voor de zonnetechniek.

1. Kies de locatie buiten en liefst op afstand van natuurgebied. Als er meerdere opties zijn, geef dan de voorkeur aan een terrein dat weinig risico's met zich meebrengt voor de versterking van ecologische structuren en waarden in het gebied. Rondom het zoekgebied zijn er zones en plekken die vallen onder het NatuurNetwerkNederland (NNN). Laat deze in principe intact, of pas ze mooi in, in het nieuwe plan. Als u vrij snel een biodivers ecosysteem wilt ontwikkelen, kies dan voor een voedselarme bodem. Een terrein dat tot voor kort intensief bemest werd, biedt dus minder goede uitgangspunten. Als een intensieve landbouw- en veeteeltfunctie definitief wordt omgezet naar klimaatvriendelijke bedrijvigheid, dan heeft dat zeker ook pluspunten, al kost het dan wat meer tijd en moeite om nieuwe natuurkwaliteit te realiseren.



Figuur 6.25 | Bron: https://ruimtelijkeplannen.provincie-utrecht.nl/NL.IMRO.9926.2020OWVISIE-VA01?s=SANMmAlGAWuZIkGnJDgUkAoxloBTQTrEP4B_BA4jfv4AHMA

2. Tref ruim voor de aanleg van de zonneweide voorzieningen voor aanwezige beschermde dieren- en plantensoorten en te behouden bomen en bossages. Wilt u bomen en struiken verplaatsen? Om deze dingen vaktechnisch en praktisch mogelijk te maken, moet u vaak meer dan een jaar vóór start bouw al maatregelen nemen. Dit kan oplopen door hoe het broedseizoen in die planning past, en door de tijd die gemoeid is met het regelen van vergunningen. Deze zorg loopt parallel aan het doen van onderzoek en het treffen van voorzieningen in het kader van archeologie.

3. Zorg voor de aanvraag van de benodigde vergunningen en ontheffingen, en geef verantwoording over keuzes en prestaties. Meestal kan de ecooloog van de gemeente u informeren over alle wettelijke verplichtingen en bij welke 'loketten' u moet zijn. Andere logische aanspreekpunten zijn de Natuur- en Milieufederatie Utrecht (NMU) en de Provincie Utrecht. Het is meestal nodig een ecologisch adviesbureau te betrekken voor onderzoek op locatie, en voor begeleiding van de aanvraag van vergunningen / ontheffingen in het kader van natuur, flora & fauna.

Ontwerp

De ins & outs van het ontwerp hangen samen met de keuzes voor zonnetechniek en energieopbrengst.

1. Bepaal het type ecosysteem en de soortenkeuze voor flora & fauna, aansluitend bij het landschap, de locatie en de ondergrond, eventueel rekening houdend met andere functies (landbouw, veeteelt, recreatie). Dit betekent dat er een veerkrachtig totaal komt van allerlei dieren en planten die goed met en van elkaar kunnen leven. Voor alle soorten moeten goede condities gerealiseerd worden: om te eten, te schuilen, te wonen en te broeden / voortplanten. Het is niet vanzelfsprekend dat de vogels en andere dieren die tot nu toe op de locatie aanwezig waren, zich thuis voelen onder en rondom zonnecollectoren. Zo blijken veel weidevogels gehecht aan een weids uitzicht. Het toekomstige bio diverse ecosysteem van de zonneweide zal daarom vaak een nieuw systeem zijn, dat zich in de loop van de tijd zal ontwikkelen. Denk er dus bovendien aan hoe het kan blijven passen bij het goede functioneren en beheren van de zonnesystemen, en welk beheer daarvoor nodig is. Een ecologisch adviesbureau kan deze studie verzorgen. Tegenwoordig zijn er ecologen die gespecialiseerd zijn in biodiversiteit van zonneweides, vaak verbonden aan WUR, RUG of CML, en in het consortium Zon in Landschap.
2. Kies voor vlakke collectoren of voor trogspiegels. Bepaal de optimale opstelling (richting, afstanden) van de gekozen zonnecollectoren, ook voor bezonning / beregening van de bodem. Zier hierover meer in paragraaf 2.
3. Maak een integraal ontwerp voor de functies zonneweide en biodiversiteit, eventueel ook voor andere functies, bijvoorbeeld recreatie en tuinieren. De omheining speelt een belangrijke rol. Die is nodig vanwege veiligheidseisen. In de omheining kan gelegenheid worden geboden voor passage van bepaalde diersoorten, en het kan een plek zijn om te schuilen, voedsel te vinden of te nestelen. De hoogte en aankleding van de omheining aan de 'buitenzijde' bepalen mede hoe de zonneweide zichtbaar is vanuit de omgeving: verhuld of juist in het zicht. Ook in sloten en bermen rondom de zonnevelden kan erg veel gedaan worden voor biodiversiteit. Het integraal ontwerp van een zonneweide gaat dus over een groter gebied dan alleen de zonnevelden.



Figuur 6.26 | Beeldmerk van Energietuinen Nederland, bron: www.energietuinen.nl

Voor prestaties op het vlak van biodiversiteit, klimaatadaptatie en waterkwaliteit bestaan subsidiemogelijkheden, bijvoorbeeld van de Provincie Utrecht en Waterschap Rivierenland. Ook voor projecten 'ontmoeten met groen' en natuur- en milieueducatie zijn er soms subsidies te vinden.

Aanleg en beheer

1. Scherm waardevolle bodems en groen-elementen op de bouwlocatie af tijdens de realisatie van de zonnepanelen. Dit is een vervolg op aandachtspunt 2. Wat is er nodig zodat de verschillende soorten dieren en planten tijdens de werkzaamheden gezond kunnen blijven functioneren?
2. Kies voor een emissiearme bouwplaats en duurzaam transport. Allereerst om de hinder door trillingen, geluid, licht, luchtvervuiling en geuren te beperken, zeker in de nacht. Daarnaast draagt het bij aan de duurzaamheidsprestaties van het project. Dit kan een positieve rol spelen bij het aantrekken van financiering en voor het verkrijgen van een bouwvergunning.
3. Kies voor natuurvriendelijk beheer, passend bij wat het ecosysteem in ontwikkeling nodig heeft. Stem dit praktisch af op het technisch en schoonmaakbeheer van de zonnepanelen. Een voorbeeld van milieubewust maaien is de inzet van schapen. Dit is van toepassing als maaien nodig is, en het maaisel niet op de bodem moet blijven liggen. Voor een goede natuurontwikkeling vertrekken de schapen na een korte graasperiode van de locatie. De zonzijden van vlakke en trogvormige zonnecollectoren hoeven niet vaak schoongemaakt te worden. Vogels en andere dieren bouwen er geen nesten op / in. Ze zijn van glad glas en liggen niet horizontaal, waardoor regen en wind ze over het algemeen voldoende schoonwassen. Als er bij een inspectie een forse of hardnekkige vervuiling wordt vastgesteld, zoals een grote vlek vogelpoep, dan kan deze verwijderd worden met een hoge drukspuit, zonder toevoeging van chemicaliën. Deze milieuvriendelijke methode is ook de meest geschikte voor een periodieke grote schoonmaakbeurt, bijvoorbeeld eenmaal per jaar. Wanneer er bij de schoonmaak van collectoren een sopje wordt gebruikt, heeft het zin hiervoor natuurvriendelijke zeep te kiezen.

PARAGRAAF 2. BEZONNING EN BEREKENING VAN DE ONDERGROND

Bodemkwaliteit en grondbelichting

De aard en samenstelling van de bodem bepalen in hoge mate wat er op het maaiveld kan groeien en leven. Als er op een locatie een rijk bodemleven is, kan hiervan dankbaar gebruikgemaakt worden. Anders moet een goede bodemkwaliteit worden ontwikkeld.

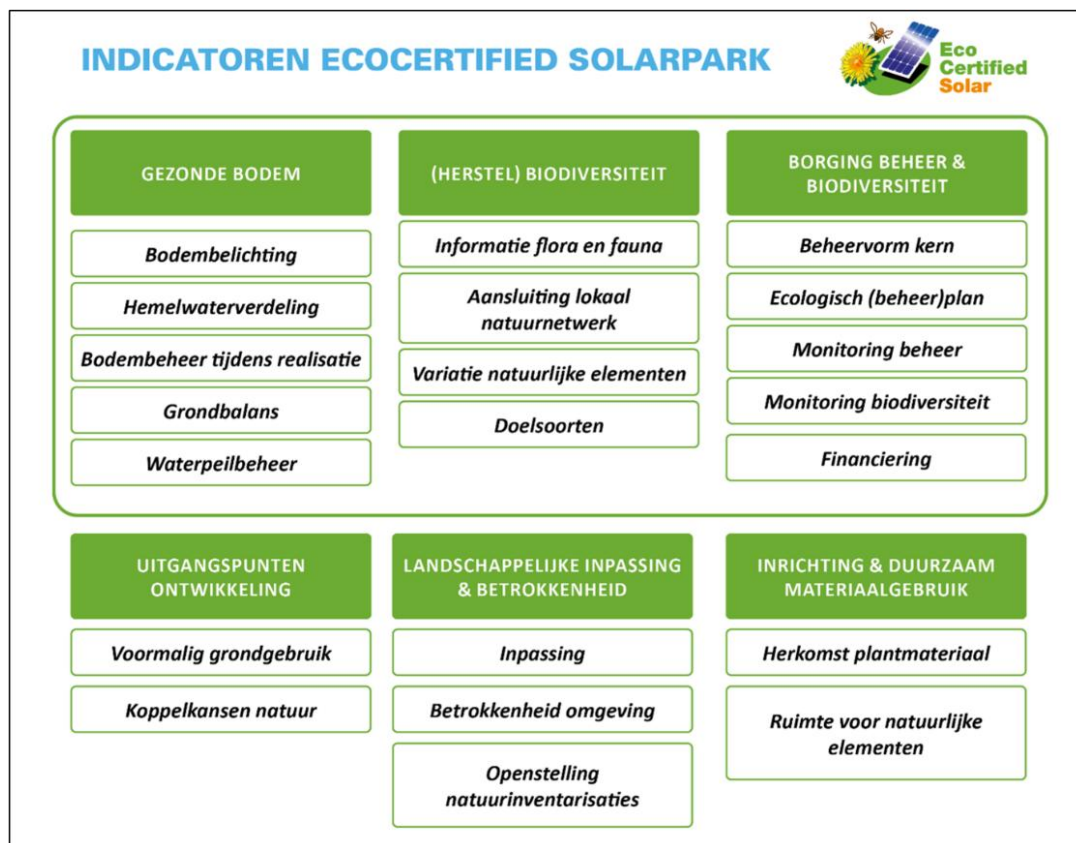
Belangrijke voorwaarden voor een gezonde bodem zijn de rechtstreekse bezonning en voldoende water.

Er lopen meerdere onderzoeken naar de 'bodembelichting' op zonneparken in Nederland. Op basis van praktijkmetingen is er een ontwerpstoets ontwikkeld. Het is (nog) geen wettelijk verplicht instrument, maar het consortium Zon in Landschap heeft er het label "EcoCertified Solar Park" aan verbonden. Met hun innovatieve Solar Eco Plus-projecten ontwikkelen zij meer kennis en richtlijnen.

Enkele vuistregels voor de belichting van de bodem zijn:

- Een belichtingsgrens van 15% van een plek wordt gezien als startvoorwaarde voor vegetatieontwikkeling;
- De verwachting is dat tenminste 40% open veld-instraling van een plek voldoende is voor de groei en diversiteit van de vegetatie, waarbij de nadelige effecten op de naastgelegen donkerste plekken kunnen worden opgevangen.

De genoemde percentages zijn ten opzichte van een open veld dat ongehinderd alle zonneschijn per dag en per jaar kan ontvangen.



Figuur 6.27 | Indicatoren Ecocertified Solarpark Bron: <https://zoninlandschap.nl>

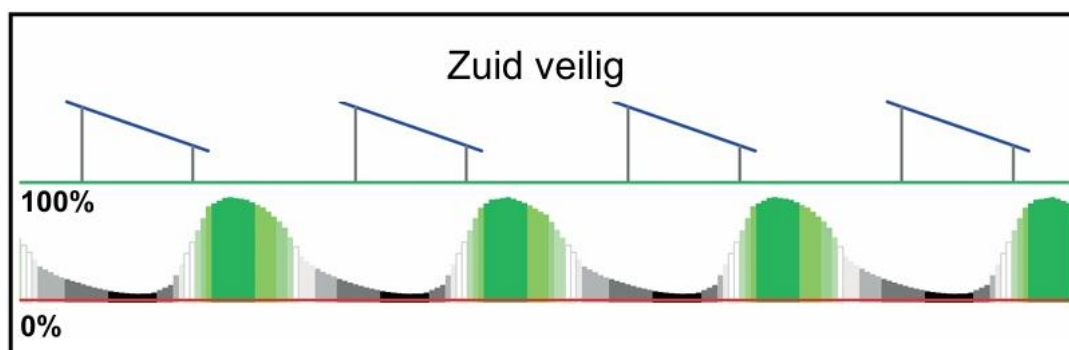
Een veilige en zonder meer toelaatbare situatie ontstaat als (én-én-én):

- elk stuk grond van de zonneweide tenminste 10% van de tijd de open veld-instraling ontvangt;
- minimaal 65% van de bodem meer dan 15% van de open veld-instraling ontvangt;
- minimaal 25% van de bodem meer dan 40% van de open veld-instraling ontvangt.

De bezonning van de bodem bij plaatcollectoren

Alle onderzoek en richtlijnen in Nederland zijn ontwikkeld voor zonneparken met pv-panelen. Daarvoor zijn zuid gerichte en oost-westliggingen onderzocht en vergeleken. Vanzelfsprekend komen de parken met stroken zuid gerichte panelen er wat betreft bezonning van de bodem beter af dan de oost-west-installaties, die grote delen van de bodem in het donker zetten. Van de zuid gerichte opstellingen zijn de rijen met een hoogte van één paneel gunstiger dan die van rijen 'tafels' met een hogere hoogte. Het zwakke punt van elke zuid gerichte opstelling blijft dat er een strook onder en direct 'achter' de vaste rijen is die in de loop van het jaar (nagenoeg) geen zon krijgt. Hoe lager en vlakker de panelen staan, des te nadeliger dit is voor de bodem eronder. Of andersom gezegd: als de panelen omhoog gebracht worden en een grotere hellingshoek hebben, en als bovendien de rijen-afstand ruim is, dan zal meer bodem zo nu en dan zon ontvangen.

Rijen zonnecollectoren-platen laten zich goed vergelijken met de rijen niet-transparante zonnepanelen op zuid. In het algemeen krijgen collectoren een grotere hellingshoek dan pv-panelen, en hoort daar ook een wat grotere rijen-afstand bij. Met min of meer dezelfde software als die voor pv-panelen kan de bezonning van de bodem verbeeld worden, en kunnen belichtingspercentages van de bodem bepaald worden. Dit geldt ook voor de buizencollectoren, omdat zij aan de achterzijde voorzien worden van een reflectorplaat, en daarom een vergelijkbare schaduw maken als vlakke collectorplaten.



Figuur 6.28 | Eén van de opstellingen in een zonnepark-ontwerp (in verhouding) waarvoor de bodeminstraling is berekend.

Bron: Artikel K. Cesar e.a.

De bezonning van de bodem bij trogspiegels

Voor de bodembelichting bij toepassing van trogspiegels bestaat nog geen programmatuur. Hiervoor zijn twee verklaringen. Ten eerste is deze techniek nog niet vaak toegepast in ons deel van de wereld, met de zonnestanden hier. Ten tweede is de aandacht voor biodiversiteit, en dus de reden om naar de bodembelichting te willen kijken, een jonge tak van sport. Bij de grote toepassingen van de trogspiegeltechniek in woestijnen en dergelijke speelt bodembelichting geen rol. De verwachting is dat de leveranciers die in Nederland actief willen zijn, samen met de onderzoekers die verbonden zijn aan Zon in Landschap, binnenkort wel met programmatuur zullen komen. Voor deze haalbaarheidsstudie zullen we dus moeten terugvallen op logica en inbeeldingsvermogen.

Rijen trogspiegels staan noord-zuid opgesteld. De afstand tussen de rijen is vrij groot, zodat de spiegels een groot deel van de dag optimaal zon kunnen vangen, ook als die vrij laag staat. Bij lage zonnestanden en meedraaiende (omhoogkomende) troggen, zal weinig zon de bodem tussen en onder de trogspiegels bereiken. Maar gedurende de uren midden op de dag, als de zon wat hoger staat en schijnt vanuit zuidoost tot zuidwest, zal veel bodem tussen de rijen en net onder de trogspiegels zon ontvangen. Trogspiegels zijn daarmee beduidend gunstiger voor de bodembelichting dan collectorplaten. Door het hoger plaatsen van de trogspiegels wordt de totale instraling van de bodem niet zoveel hoger, maar wel zal de zon dan over de dag heen (nagenoeg) de hele bodem van de zonneweide bereiken. Volgens de vuistregels van Zon in Landschap heeft dit een gunstig effect op de vegetatie-ontwikkeling.

De berekening van de bodem

Naast bezonning is ook berekening van de bodem een voorwaarde voor de ontwikkeling van flora en fauna. De hoeveelheid regen die op de zonneweide valt en de totale bodem bereikt, is vanzelfsprekend niet afhankelijk van de gekozen zonnetechniek. Wel is er een verschil in de verdeling van het regenwater over de bodem, wat de terreinontwikkeling kan beïnvloeden. Ook kan het beheervoorstellen hebben, dat modderstroken en watergeulen worden vermeden.

Anders dan bij bezonning is het wel zo, dat als bepaalde stroken bodem niet direct beregend worden, zij nog wel water en vocht zullen krijgen door opspattend water, verspreiding in de bodem, vocht in de lucht en condensatie.

In een zonneweide met vlakke collectoren, en de daarbij behorende opstellingshoeken en rij-afstanden, zal zonder meer een aanmerkelijk deel van de bodem regen ontvangen, maar er zijn stroken die (nagenoeg) geen regen ontvangen, en de grond aan de onderrand van de collectoren zal extra nat worden. Een verbeteringsoptie is tussen de collectoren in de rij kleine openingen te houden.

In weides met trogspiegels zal de regen meer bodem direct bereiken, dus beter worden verdeeld. Dit wordt veroorzaakt door drie dingen. Ten eerste is de projectie van trogspiegels kleiner dan die van plaatcollectoren, mede omdat de troggen draaien. Ook in de nacht is de projectie van de ondersteboven hangende troggen klein. Ten tweede zal de regen die op de troggen valt en afstroomt buitenlangs de ronde vorm wat verder onder de trog terechtkomen. Ten derde zijn de troggen van kleine openingen voorzien om water vanuit de 'binnenzijde' af te voeren, en ook dit draagt bij aan een betere verdeling van regenwater over het hele veld.



Figuur 6.29 | voorbeeld van een zonneweide waar flora en fauna vooral de kans krijgen om de panelenvelden heen.

PARAGRAAF 3. MEER INFORMATIE

- Kennisnetwerk Nationaal Consortium Zon in Landschap: www.zoninlandschap.nl
- Eco Certified Solar Parks: <https://zoninlandschap.nl/projecten/i358/ecocertified-solar-parks>
- Gedragscode Zon op land: hollandsolar.nl/gedragscode-zon-op-land
- Effecten van zonneparken op natuur en landbouw: edepot.wur.nl/475349
- Effecten van zonneparken op de bodem: [samendedieptein.nl/Zonneparken agrarisch gebied bodemkwaliteit](http://samendedieptein.nl/Zonneparken_agrarisch_gebied_bodemkwaliteit)
- Zonnepanelen mét behoud bodemkwaliteit: tno.nl/beter-ontwerp-zonneparken
- Nieuwe ontwerptoets verankert bodemkwaliteit in zonneparken. K. Cesar e.a. In Tijdschrift Bodem 2 - 2022.
- Natuurnetwerk Nederland - Provincie Utrecht: <https://www.provincie-utrecht.nl/onderwerpen/natuur/natuurnetwerk-nederland-nnn>
- Info over de wetgeving betreft natuurbescherming: bij12.nl/soorten-ontheffingen-wet-natuurbescherming
- Maatregelen voor biodiversiteit bij zon- en windprojecten (Engels): portals.iucn.org/49283
- Brochure Natuur inclusieve energieprojecten - Ecosysteemanalyse. De Natuur- en Milieufederaties: Ecosysteemanalyse.pdf
- Brochure Biodiversiteitsimpactladder voor energieparken, van De Natuur en Milieufederaties: Biodiversiteitsimpactladder.pdf
- De Natuur en Milieufederaties geven cursussen ‘Energieboswachter’, voor meer aandacht voor biodiversiteit bij zonne- en windparken: <https://www.natuurenmilieufederaties.nl/project/energieboswachter/>
- Informatie en inspirerende voorbeelden van energietuinen in Nederland: <https://www.energietuinen.nl/>

Bijlage 9 Financiële uitgangspunten

Naar deze bijlage wordt verwezen in hoofdstuk 4.

Tabel 10 | Uitgangspunten financiële analyse zonnewarmte (vacuümbuis met CPC) en MTO 2024.

parameter	eenheid	waarde
Algemeen		
rente op lening	%	3,5
aandeel eigen vermogen	%	0
aandeel vreemd vermogen	%	100
Projectrendement (IRR)	%	3,5
disconteringsvoet	%	3,5
CAPEX		
indexering investeringskosten	%	2,0
project looptijd	jaar	30
startjaar investering	jaar	0
Levensduur/afschrijving		
Distributie (warmtenet)	jaar	50
Distributie (MTO)	jaar	50
Distributie (zonnewarmte)	jaar	50
Civil en aardbewerking (zonnewarmte)	jaar	50
MTO/open bodemenergiesysteem	jaar	50
Zonnewarmte/regeneratiesysteem	jaar	25
Warmtepompen collectief (inclusief TSA, pompen, etc.)	jaar	15
Collectieve gasketel als piekvoorziening en back-up	jaar	15
Afleversets	jaar	30
Gebouw TR	jaar	50
Buffervat	jaar	50
Herinvestering		
Distributie (warmtenet)		100%
Distributie (MTO)		100%
Distributie (zonnewarmte)		100%
Civil en aardbewerking (zonnewarmte)		100%
MTO/open bodemenergiesysteem		20%
Zonnewarmte/regeneratiesysteem		20%
Warmtepompen collectief (inclusief TSA, pompen, etc.)		70%
Collectieve gasketel als piekvoorziening en back-up		50%
Afleversets		100%
Gebouw TR		100%
Buffervat		100%

OPEX							
indexering operationele kosten				%			1,5
startjaar operatie				jaar			1
Realisatie project				jaar			2
elektriciteitsprijs zakelijk				€/kWh			0,15
gasprijs zakelijk				€/m ³			1,09
volloopscenario				jaren			6
OPEX beginjaren	jaar 0	jaar 1	jaar 2	jaar 3	jaar 4	jaar 5	jaar 6 - 31
distributie	0%	35%	70%	85%	90%	95%	100%
warmtepompen	0%	23%	66%	85%	90%	95%	100%
MTO	0%	28%	73%	90%	93%	96%	100%
zonthermie	0%	40%	77%	90%	94%	97%	100%
Omzet							
indexering omzet				%			2,0
startjaar omzet				jaar			1
volloopscenario				jaren			6
maximale SDE++ subsidie per jaar				€/jaar			6.000
tarief als percentage van het maximum volgens warmtewet 2024				%			90
aansluitpercentage				%			75

TOELICHTING BEGRIPPEN BUSINESS CASE

WACC

De WACC beschrijft de rendementseis van het project en wordt uitgedrukt in een percentage. Aan-gezien een project deels met eigen en deels met vreemd vermogen gefinancierd kan worden, is de WACC afhankelijk van de rendementseis op het eigen vermogen, de rente op het vreemd vermogen en de verhouding tussen eigen en vreemd vermogen.

$$WACC = \left(\frac{E}{E+V} R_e \right) + \left(\frac{V}{E+V} R_v \right)$$

R_e = Kosten van het Eigen Vermogen (de dividendbetaling aan aandeelhouders);

R_v = Kosten van het Vreemd Vermogen (het rentebedrag dat over leningen betaald moet worden);

E = Aandeel eigen vermogen;

V = Aandeel vreemd Vermogen;

De 3,5% samengesteld rendement in bovenstaande tabel is gelijk aan de rentelast van het vreemd vermogen. Er geldt namelijk financiering met 100% vreemd vermogen. Indien er voor het vreemd vermogen een lager rente/rendement gehanteerd kan worden, geeft dat meer ruimte in de business case.

Projectrendement (IRR)

Het projectrendement wordt bepaald door alle kasstromen (kosten en opbrengsten) gedurende het project te verdisconteren. In de business case is het projectrendement gelijkgesteld aan de WACC. Daarmee rendeert het project dus precies genoeg om te voldoen aan de financiële verplichtingen van de investeerders.

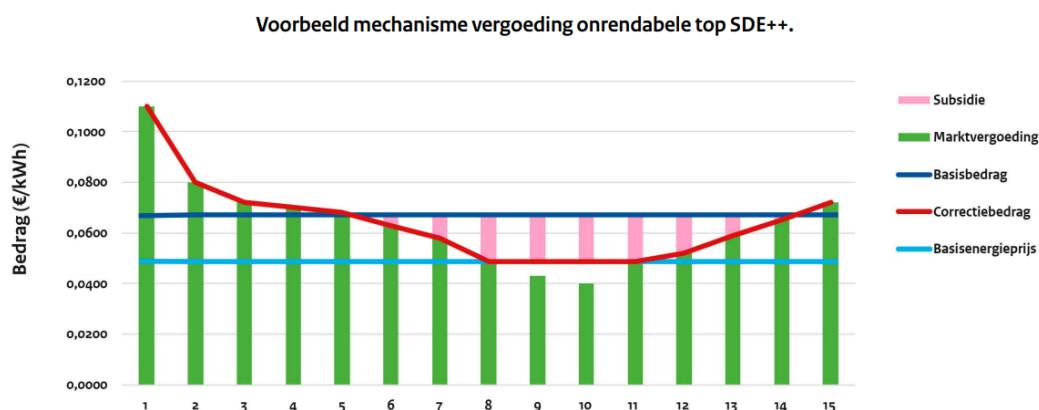
Onrendabele top en netto contante waarde (NCW)

De onrendabele top geeft aan hoeveel extra inkomsten aan het begin van het project benodigd zijn om het gewenste projectrendement te halen en daarmee de WACC kosten te dekken. Zonder deze initiële investeringen zal het project een te laag projectrendement kennen en niet aantrekkelijk zijn voor realisatie. De Netto Contante Waarde (NCW) van een investering is een methode om te bepalen of een investering rendabel gaat zijn, rekening houdend met inflatie en de disconteringsvoet. In de business case is toegerekend naar een NCW-waarde van 0 euro, wat inhoudt dat het project precies genoeg oplevert om te voldoen aan de WACC.

SDE++ subsidie

De SDE++ is een exploitatiesubsidie. Dat wil zeggen dat subsidie ontvangen kan worden tijdens de exploitatieperiode van een project. De SDE++ vergoedt het verschil tussen de kostprijs van de hernieuwbare energie of de te verminderen CO₂-uitstoot en de (mogelijke) opbrengsten. De subsidie wordt toegekend over een periode van 12 of 15 jaar. De hoogte van de subsidie is afhankelijk van de toegepaste technologie en de CO₂-reductie die daarmee uiteindelijk gerealiseerd wordt. Voor meer informatie zie de brochure 'SDE++ 2024. Stimulering Duurzame Energieproductie en Klimaattransitie.' van Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.

De SDE++-bijdrage is gelijk aan het aanvraagbedrag minus het correctiebedrag. Het aangenomen aanvraagbedrag is het maximale basisbedrag. Het basisbedrag is de kostprijs voor de productie van hernieuwbare energie of om CO₂-uitstoot te reduceren. Deze wordt vastgelegd aan het begin van het project. Het correctiebedrag legt de opbrengsten en vermeden inkoopkosten vast. Het correctiebedrag wordt onder andere bepaald door de marktwaarde van energie. Het correctiebedrag wordt jaarlijks vastgesteld. Als het correctiebedrag gelijk is aan de basisenergieprijs, is de SDE++-bijdrage maximaal. Als het correctiebedrag hoger is dan het aanvraagbedrag, dan wordt er geen subsidie verstrekt. De onderstaande grafiek geeft deze systematiek weer.



Figuur 6.30 | Voorbeeld mechanisme vergoeding onrendabele top SDE++ (bron: rvo.nl).

De maximale SDE++ subsidie in deze studie is bepaald met het maximale basisbedrag, het correctiebedrag van 2024, het maximum aantal vollasturen en de berekende hoeveelheid warmte die de duurzame warmtebron levert. De jaarlijkse SDE++-bijdrage neemt af gedurende de looptijd van het project. Het correctiebedrag neemt namelijk volgens de verwachting elk jaar toe.

Bijlage 10 Principeschema's

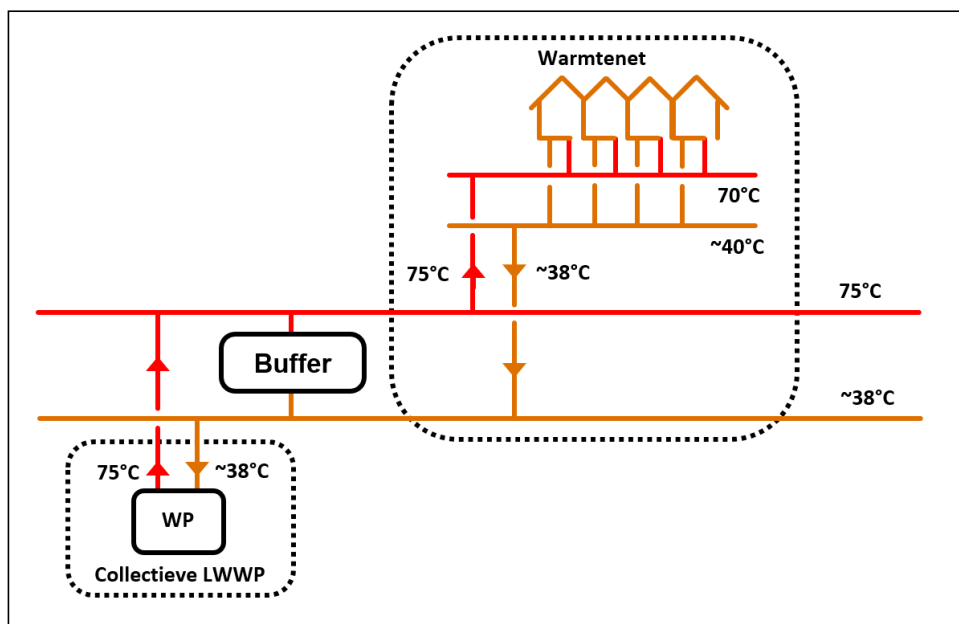
Deze bijlage bevat principeschema's van drie verschillende energieconcepten. Naar deze bijlage wordt verwezen in hoofdstuk 4 Financiële haalbaarheid en 5 Afweging energieconcepten. De drie energieconcepten zijn:

- 1 collectieve lucht-/waterwarmtepomp (LWWP)
- 2 aquathermie (TEO) + WKO
- 3 zonnewarmte + MTO

Opmerking: De temperaturen in de principeschema's zijn ter indicatie.

1. Principeschema collectieve lucht-/waterwarmtepomp (LWWP)

Bij een collectieve lucht-/waterwarmtepomp wordt warmte centraal geproduceerd met één of meerdere LWWP'en. Deze warmte wordt geleverd aan de woningen via een warmtenet. De buffer vangt een deel van de fluctuaties in de warmtevraag op. Hierdoor kan de warmtepomp langere tijd een constant vermogen aan warmte aanhouden. Dit is gunstig voor het rendement. De LWWP haalt warmte uit de buitenlucht die vervolgens opgewaardeerd wordt naar 75°C en overgedragen wordt aan water. De LWWP heeft een hoog rendement in de zomer, wanneer er veel warmte in de buitenlucht zit. In de winter kan de LWWP nog steeds warmte leveren, echter wel met een lager rendement. Het jaarlijks elektriciteitsverbruik van dit energieconcept is dan ook groot. Dit concept bevat geen seizoensopslag.

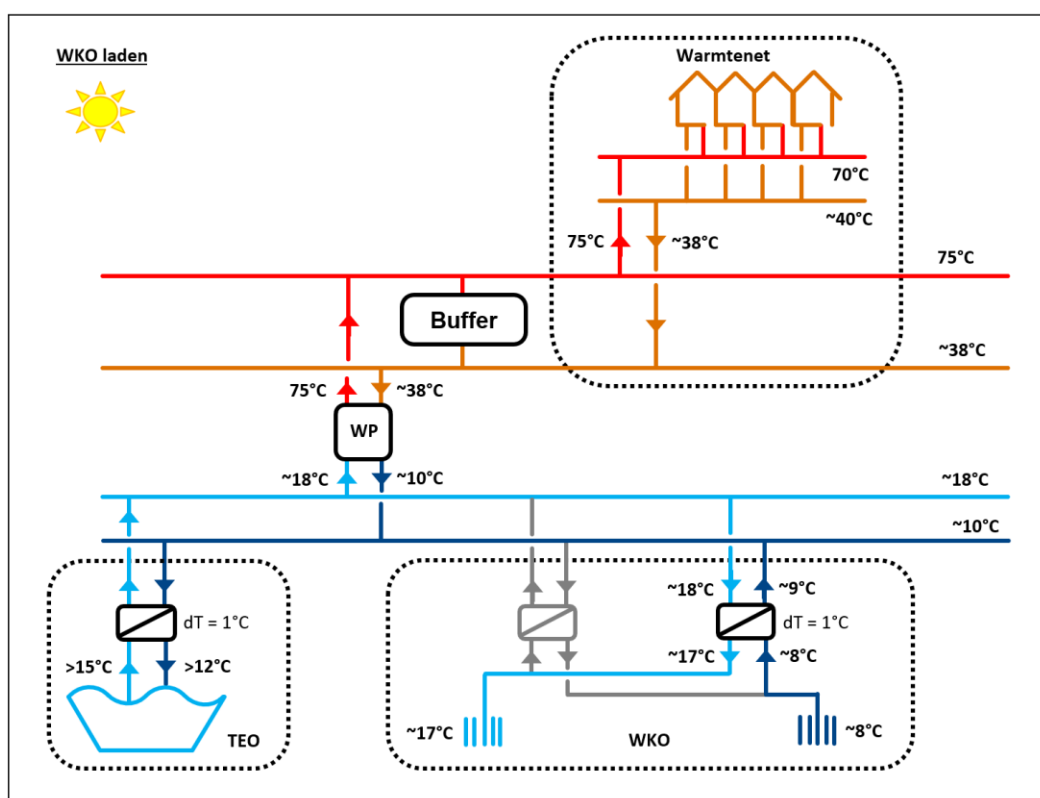


Figuur 6.31 | Principeschema collectieve lucht-/waterwarmtepomp (LWWP). Temperaturen ter indicatie.

2. Principeschema aquathermie (TEO) + WKO

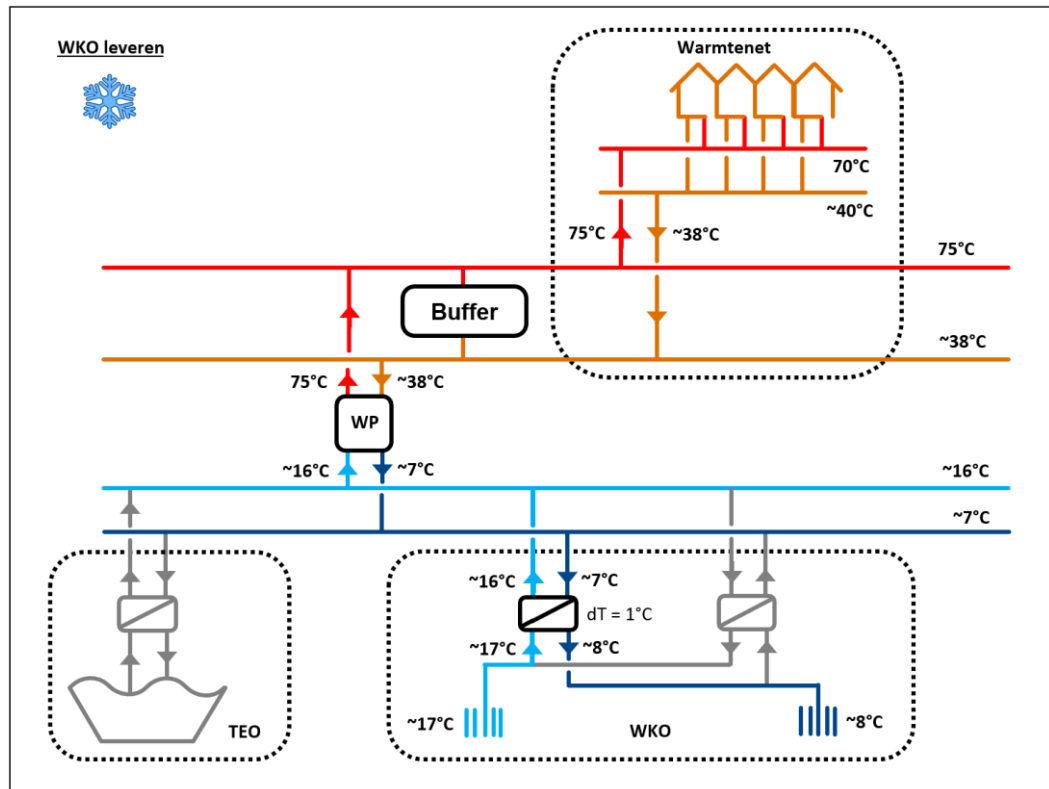
Aquathermie in de vorm van Thermische Energie uit Oppervlaktewater (TEO) in combinatie met Warmte en Koude Opslag (WKO) kent twee situaties: de zomersituatie en wintersituatie. Beide situaties zijn hier schematisch weergegeven en toegelicht.

In de zomersituatie wordt de WKO geladen. Grondwater stroomt dan van de koude bron, via een warmtewisselaar, naar de warme bron. In de warmtewisselaar wordt warmte overgedragen aan het grondwater. Deze warmte is afkomstig uit de TEO-installatie. In deze installatie wordt warmte uit het oppervlaktewater, via een warmtewisselaar, onttrokken. Naast dat de TEO warmte levert aan de WKO, wordt ook warmte geleverd aan de woningen. Dit gaat via een warmtepomp (WP), zodat warmte op 75°C geproduceerd kan worden. De buffer gekoppeld aan het warmtenet vangt fluctuaties in de warmtevraag op, zodat de warmtepomp langer op constant vermogen kan leveren. De koude die de warmtepomp en de WKO produceren wordt geloosd in het oppervlaktewater. Hierbij wordt rekening gehouden met de wetgeving over koudelozing.



Figuur 6.32 | Zomersituatie principeschema TEO + WKO. Temperaturen ter indicatie.

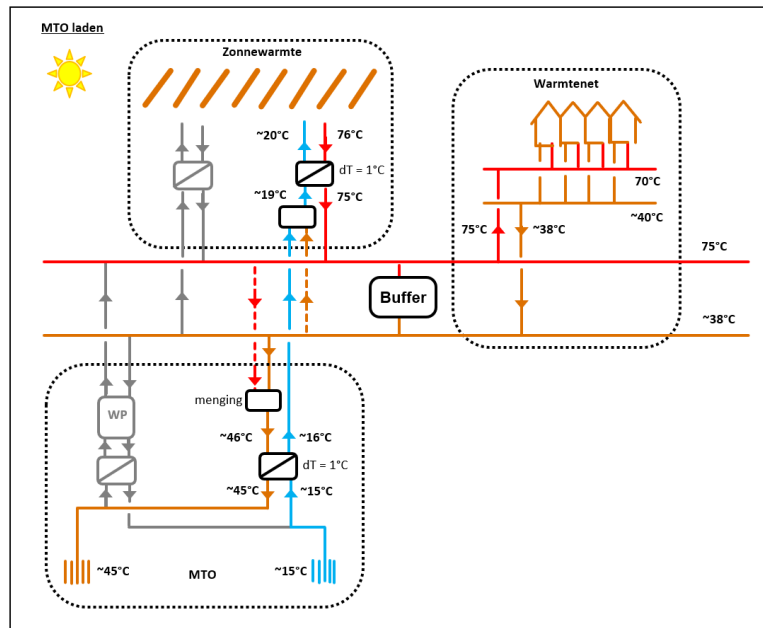
In de wintersituatie levert de WKO warmte. Grondwater stroomt dan van de warme bron, via een warmtewisselaar, naar de koude bron. In de warmtewisselaar wordt warmte onttrokken uit het grondwater. Deze warmte wordt met een warmtepomp (WP) opgewaardeerd naar 75°C. Via een warmtenet wordt de warmte geleverd aan de woningen. In de wintersituatie is de TEO inactief. Het oppervlaktewater is namelijk te koud om er efficiënt warmte mee te kunnen leveren.



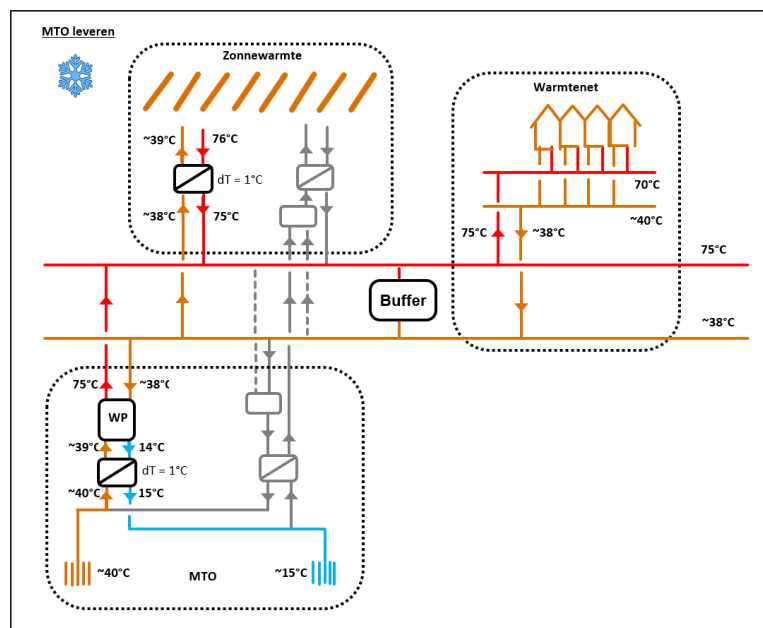
Figuur 6.33 | Wintersituatie prinsipschema TEO + WKO. Temperaturen ter indicatie.

3. Principeschema zonnewarmte + MTO

Dit energieconcept is toegelicht in paragraaf 3.1. De zomer- en wintersituatie zijn hier schematisch weergegeven.



Figuur 6.34 | Zomersituatie principeschema zonnewarmte + MTO. Temperaturen ter indicatie.



Figuur 6.35 | Wintersituatie principeschema zonnewarmte + MTO. Temperaturen ter indicatie.

IF Technology **Creating energy**



Velperweg 35
6824 BE Arnhem

T 026 35 35 555
E info@iftechnology.nl
I www.iftechnology.nl

NL60 RABO 0383 9420 47
KvK Arnhem 09065422
BTW nr. NL801045599B01

IF Technology **Creating energy**