

Warmten(i)et vastgelopen

Analyse naar de netimpact van
geothermie en alternatieven voor de
gebouwde omgeving

Eindrapport EBN



Samenvatting

In Nederland leidt netcongestie tot knelpunten in de warmtetransitie. CE Delft heeft in opdracht van EBN onderzocht hoe verschillende warmteopties, waaronder een warmtenet met geothermie, het elektriciteitsnet belasten.

In dit onderzoek is de elektrische vermogensvraag in beeld gebracht voor:

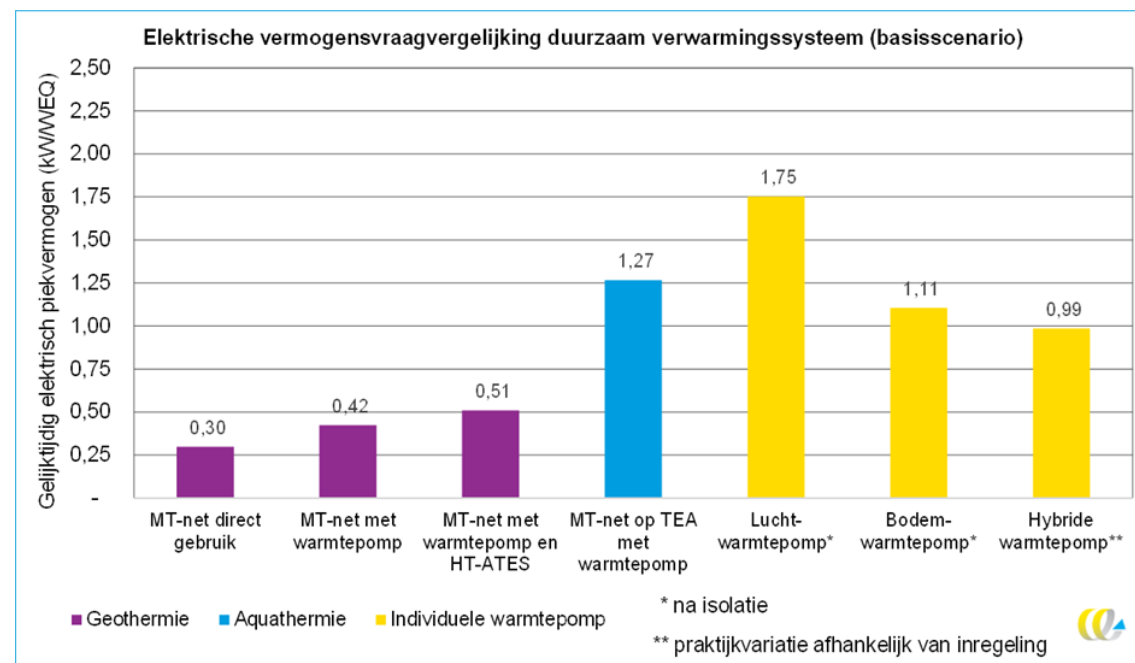
- verschillende configuraties van een warmtenet gevoed met geothermie;
- een warmtenet gevoed met aquathermie;
- individuele warmtepompen (lucht, bodem en hybride).

Hiervoor is een model ontwikkeld, waarvan de resultaten zijn gevalideerd met praktijkdata en interviews met experts. Daarnaast zijn de technieken op enkele kwalitatieve aspecten vergeleken.

Resultaat

Uit de analyse blijkt dat geothermie bij middentemperatuurnetten bijna altijd gunstiger is voor de belasting van het elektriciteitsnet dan individuele alternatieven, terwijl bij hogetemperatuurnetten dit afhangt van de productietemperatuur uit de geothermieput.

Het gebruik van warmtepompen en seizoensopslag in combinatie met geothermie verhoogt de impact op het net, maar in deze combinatie zijn er minder andere bronnen zoals gasketels nodig.



Samenvatting

Advies

Op basis van deze resultaten adviseren we:

- Beschikbare netcapaciteit te prioriteren voor geothermie, zodat individuele elektrificatie in woonwijken beheerst wordt en netbeheerders spanningsproblemen kunnen voorkomen.
- Rekening te houden bij de configuratie van het geothermie-net met het effect van deze keuzes op de impact op het net.
- Voor de keuze van een warmtetechniek een integrale afweging te blijven maken, omdat een techniek niet altijd netverzwaring voorkomt, maar dit soms slechts uitstelt. Andere aspecten zoals kosten, technische haalbaarheid en bredere maatschappelijke effecten moeten ook worden meegewogen.

Afkortingenlijst

Afkorting	Betekenis
COP	Coëfficiënt of performance. De hoeveelheid nuttige thermische energie die op een bepaald moment geproduceerd wordt per hoeveelheid elektrische energie die erin gestopt wordt.
SCOP	Seasonal coëfficiënt of performance. De hoeveelheid nuttige thermische energie die in een bepaald seizoen geproduceerd wordt per hoeveelheid elektrische energie die erin gestopt wordt.
ESP	Electrosubmersible pump. Ook wel productiepomp of opvoerpomp, de pomp die aardwarmte in een geothermie-installatie omhoog pompt.
HT-ATES	High Temperature Aquifer Thermal Energy Storage, ook wel HTO (hogetemperatuursopslag).
ZLT, LT, MT, HT	Zeer lage temperatuur, lage temperatuur, middentemperatuur, hoge temperatuur. Refereert in context van een warmtenet aan de lever-temperatuur van warmte aan gebouwen. Dit is dus anders dan de temperaturen van de bron. Conform NPLW-definities: ZLT tot 30 °C, LT tot 55 °C, MT tot 75 °C, HT alles daarboven.
LS-net, MS-net	Laagspanningsnet, middenspanningsnet.
MSR	Middenspanningsruimte. Transformatorstation, knooppunt tussen het MS-net en LS-net.
RWZI	Rioolwaterzuiveringsinstallatie.
TEA	Thermische energie uit afvalwater.
Wkk	Warmtekrachtkoppeling, een energie producerende eenheid die zowel warmte als elektriciteit produceert, vaak gebruikt in context van gasmotoren in de glastuinbouw, maar bijvoorbeeld ook mogelijk om op te stellen in een warmtenet (bijvoorbeeld bij een geothermiebron) of woning (micro-wkk).
WP	Warmtepomp.
WEQ	Woningequivalent. Gebruikt om utiliteitsbouw uit te drukken in aantal woningen. In deze studie is 130 m ² bruto vloeroppervlak (BVO) utiliteit gelijk aan 1 WEQ. 1 woning telt als 1 WEQ.

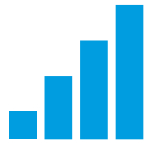
Inhoud



1. Onderzoeksvragen



2. Methode



3. Resultaten



4. Conclusies



A. Bijlagen

| 1. Onderzoeksvragen

Aanleiding & doel



Aanleiding

In Nederland neemt de druk op het elektriciteitsnet snel toe. In steeds meer regio's is sprake van *netcongestie*, waardoor het aansluiten van nieuwe of grotere vermogens steeds lastiger wordt. Deze ontwikkeling raakt ook de warmtetransitie: om woningen en gebouwen aardgasvrij te maken, is een grote omschakeling naar elektrische oplossingen en collectieve warmtevoorzieningen nodig.

Binnen de warmtetransitie zijn er grofweg twee routes: een **all-electric-aanpak**, waarbij veel individuele warmtepompen worden toegepast, en de inzet van **warmtenetten**, waarbij collectieve voorzieningen een rol spelen. Beide opties hebben gevolgen voor de belasting van het elektriciteitsnet, maar op welke manier en met welke intensiteit verschilt.

Met name bij warmtenetten in combinatie met geothermie speelt de vraag hoe groot de benodigde elektrische aansluiting precies is, hoe dit verschilt per configuratie en hoe dit zich verhoudt tot alternatieven.

Om hier inzicht in te krijgen heeft CE Delft in opdracht van EBN een kwantitatieve analyse gedaan van de benodigde elektrische vermogens van verschillende warmteopties.

Onderzoeksvragen

Met dit onderzoek beantwoorden we de volgende onderzoeksvragen:

- Wat is het effect van warmtenetten op netcongestie en de verzwaringsopgave voor het elektriciteitsnet ten opzichte van een all-electric-oplossing?
- Wat is het effect van geothermie als warmtebron op netcongestie en de verzwaringsopgave ten opzichte van alternatieve warmtebronnen?

Afbakening

Focus op impact op de elektriciteitsinfrastructuur

De afweging van warmtetechnieken hangt af van meerdere factoren, zoals kosten, milieu-impact, ruimtelijke inpassing en maatschappelijke acceptatie. In dit onderzoek ligt de focus op de impact op de elektriciteitsinfrastructuur. Een uiteindelijke keuze voor een warmtetechniek moet altijd gemaakt worden op basis van een breder scala aan aspecten.

Alleen warmtenetbuurten

Er is gekeken naar buurten waar een warmtenet op basis van nationale kosten een kansrijke optie is. Buurten waar individuele oplossingen (zoals all-electric) altijd voordeliger zijn, vallen buiten de scope van dit onderzoek.

Uitsluitend het effect van warmtetechnieken op het elektriciteitsnet

In deze studie kijken we uitsluitend naar het effect van warmtetechnieken op het elektriciteitsnet. Dit bepaalt echter niet alleen of het net verzwakt moet worden. Dat hangt ook af van andere ontwikkelingen zoals toename van elektrisch vervoer of zonnepanelen.

2. Methode

Aanpak, scope en modelleringswijze



Methode

- 1 **Uitgangspunten** voor het vergelijken van verwarmingstechnieken.
- 2 Selectie van **collectieve en individuele verwarmingstechnieken, sectoren en toepassingsgebieden**.
- 3 **Modellering van energieverbruik en elektrische vermogensvraag**, per techniek en gebied, voor het gehele verwarmingssysteem in een koud jaar.
- 4 **Validatie** van aannames en uitkomsten op basis van praktijkprojecten, geothermie EBN en netbeheerders.



Vergelijkingskader warmtetechnieken

De vergelijking tussen prestaties van verwarmingssystemen doen we op zowel kwantitatieve aspecten als kwalitatieve aspecten. De *elektrische vermogensvraag* en het *energiegebruik* evalueren we kwantitatief. Daarnaast beschouwen we enkele kwalitatieve aspecten vanuit het perspectief van *leveringszekerheid*, *betalbaarheid* en *duurzaamheid*.

1. Kwantitatief



Elektrische piekvermogensvraag

- Totale vermogensvraag per woningequivalent¹ (weq).
- Middenspanning- en gelijktijdig op het laagspanningsniveau.

Energiegebruik

- Totaal energiegebruik.
- Gebruik en duurzaamheid elektriciteit en gas.

2. Kwalitatief



Leveringszekerheid

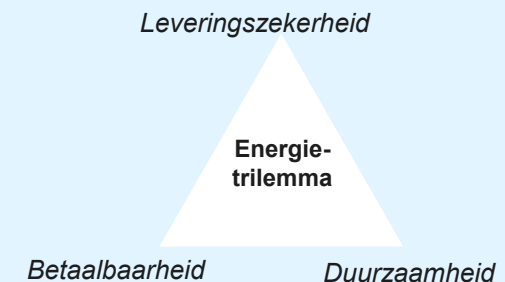
- Robuust.
- Toekomstbestendig.
- Flexibel.

Duurzaamheid

- Emissies.
- Leefomgeving.

Betalbaarheid

- Maatschappelijke kosten.
- Volatiliteit.



1. Een woningequivalent of weq is een woning of 130 m² utiliteitsgebouw.

Selectie technieken, sectoren en gebieden voor analyse (1/2)

Technieken



Collectief warmtenet

MT-warmtenet (levering ~70 °C), pieklastinvulling met gas.

Drie **geothermie**-varianten:

1. Warmte direct uit doublet met gas voor opwaardering.
2. Met warmtepomp voor opwaardering en uitkoeling.
3. Met warmtepomp en HT-ATES (seizoensopslag).

Een **aquathermie**-variant:

1. TEA (RWZI) met warmtepomp voor basis/middenlast, gas voor de pieklast.

Individuele warmtepomp

1. Hybride luchtwarmtepomp.
2. All-electric luchtwarmtepomp.
3. All-electric bodemwarmtepomp.

Gebieden gebouwde omgeving



Scope: bestaande woonwijken

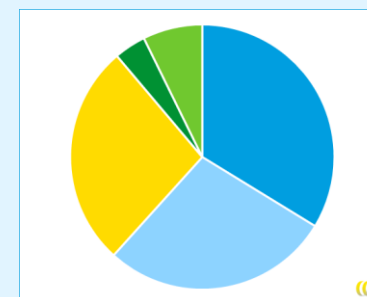
We hebben twee voorbeeldwijken geselecteerd. Beiden zijn relatief dicht bebouwd en hebben een robuuste uitkomst collectief warmtenet (S2) in de Startanalyse 2025.

Wijk 02 Rijswijk

6.679 WEQ, matig geïsoleerd

Relatief hoge warmtevraag

'Typische warmtenetwijk'



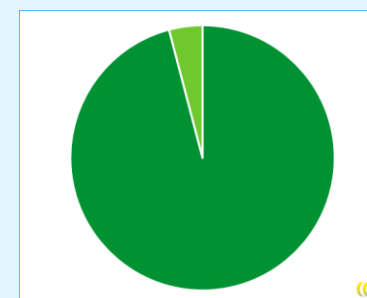
Kruidenwijk Almere

3.519 WEQ, goed geïsoleerd

'Warmtenetwijk na isolatie'



We corrigeren in uitkomsten voor de verschillende aantallen weq.



Bouwperioden (bron: allecijfers.nl)

Selectie technieken, sectoren en gebieden voor analyse (2/2)

Glastuinbouwgebied



Netmodellering gebaseerd op ervaringen Westland (uit interviews):

- Levering 85 °C aan tuinders, hoge mate van uitkoeling bij tuinders. Retour 35 °C.
- Geen piekvoorziening in het net zelf: tuinders voorzien piek met eigen gas-wkk of gasketel.
- Synthetisch afnameprofiel gebaseerd op studie '[Ontwikkelingen energie-infrastructuur voor de glastuinbouw](#)' (2025) met zeer beperkte etmaalschommelingen in levering. We nemen aan dat de bufferinstallatie van tuinders deze schommelingen opvangt.

We modelleren een fictieel afnamegebied om te vergelijken met de gebouwde omgeving.

Industrie



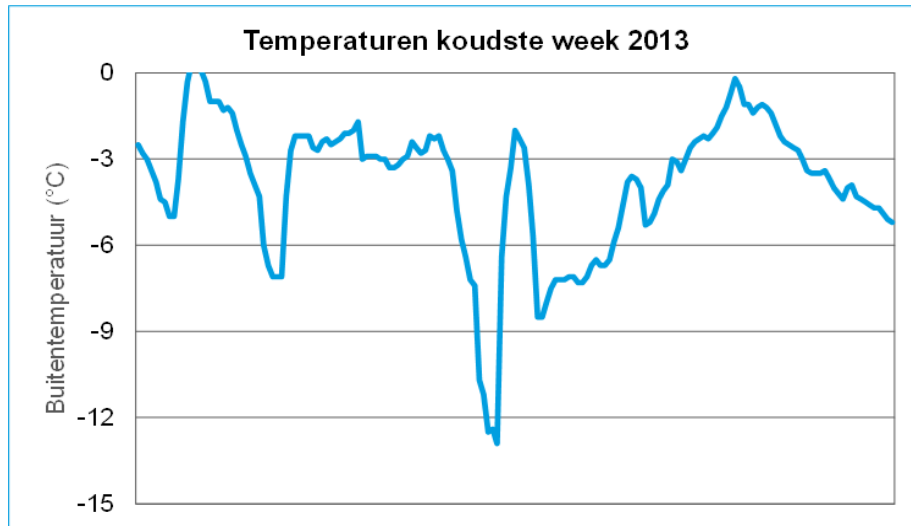
Industrie als potentiële geothermieafnemer is *niet apart gemodelleerd* in deze studie.

- We zien momenteel geen industriële bedrijven met concrete plannen rondom geothermie.
- Veel industriële processen vragen om hogere temperaturen dan de gebruikelijke productierange van geothermie. Toch zijn er toepassingen denkbaar waarbij geothermie, al dan niet in combinatie met een warmtepomp, op termijn kan worden ingezet voor processen tot circa 200 °C. In dergelijke processen wordt vaak ook restwarmte hergebruikt, waardoor de variatie in configuraties van energiestromen en installaties groot is.
- Bovendien geldt dat de vermogensvraag voor industriële toepassing van geothermie aanzienlijk moet zijn (>10 MW), of dat de warmte gecombineerd moet worden met nabijgelegen afnemers. Vanwege deze complexiteit is de industrie in dit onderzoek buiten beschouwing gelaten.

Methode modellering

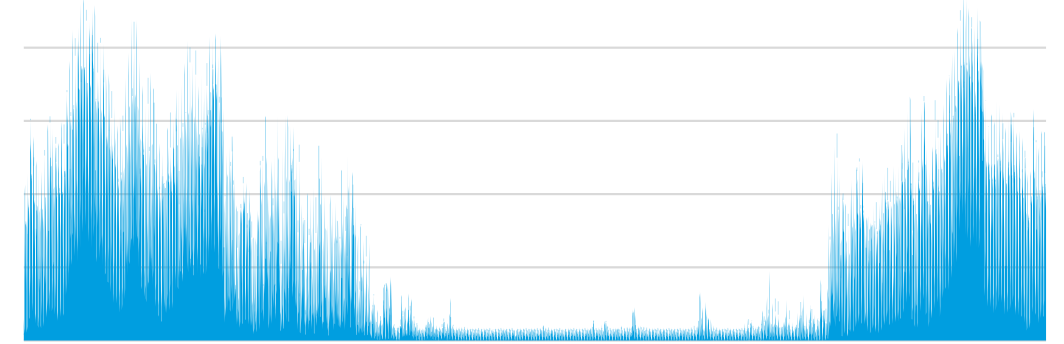
1. Warmtevraag

We gaan in dit onderzoek uit van warmtebehoefte in het relatief **koude klimaatjaar** 2013. De warmtevraag voor ruimteverwarming en warm tapwater van de geselecteerde wijk halen we uit de Warmteprofielengenerator van TNO.

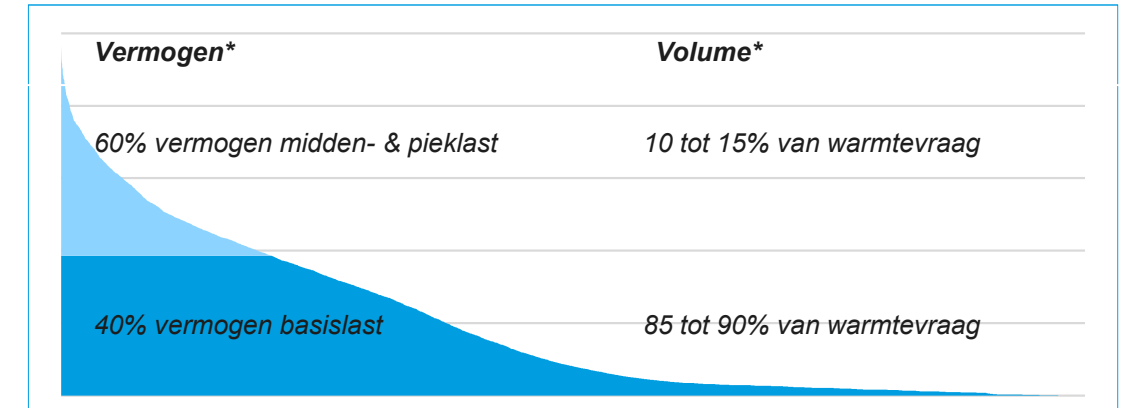


Het figuur rechtsboven geeft een voorbeeld van de warmtevraag over een jaar. De warmtevraag is hoogst in de winter en het laagst in de zomer.

Warmtebehoefte door het jaar, per uur, excl. verliezen



In de warmtevraag maken we onderscheid tussen de basis-, midden- en pieklast. Onderstaande figuur illustreert de vermogen- en volumeverhoudingen. Hoewel de midden- en pieklast het grootste deel van het vermogen invult, wordt de grootste hoeveelheid warmte door de basis-last ingevuld. Een geothermiebron is een typische basislastbron. Een gasketel is een voorbeeld van een piekvoorziening.



* Vermogen/volumeverhoudingen zijn illustratief en variëren in de praktijk.

Methode modellering

3. Aannames warmtenetberekeningen (1/2)

Dimensionering van geothermiebron. De geothermieput is gedimensioneerd als percentage van het piekvermogen van het warmtenet. Daarbij hanteren we standaard 40%. Deze waarde variëren we in de gevoeligheidsanalyse, voor bijvoorbeeld de situatie wanneer de putproductie in de praktijk significant afwijkt van de verwachte P50-waarde.

Productietemperatuur van de geothermiebron. We gaan ervan uit dat de put een bepaald debiet met een vaste temperatuur warmte produceert. De mogelijke temperaturen variëren in Nederland. Standaard gaan we uit van 75 °C. We doen gevoeligheidsanalyse op de range van 60 tot 90 °C.

Maximale nettemperatuur (wintertemperatuur stooklijn). MT-warmtenetten leveren warmte tussen de 55 en 70 °C af aan gebouwen. Om de warmte tijdens koude winters vanaf de bron door leidingen naar de gebouwen te brengen zijn hogere nettemperaturen nodig. Naarmate de buitentemperatuur daalt, stijgt dus de nodige temperatuur van het net. Dit is de stooklijn. Bij -15 °C gaan we standaard uit van een maximale nettemperatuur van 85 °C, in de zomer (buitentemperatuur >20 °C) daalt dit in onze aannames tot 70 °C. In het jaar waar mee gerekend is, 2013, is de minimale temperatuur -7 °C waardoor niet de hoogste temperatuur bereikt wordt. We variëren in gevoeligheidsanalyses deze maximale nettemperatuur voor MT-netten. Voor bestaande HT-netten, waarbij veel warmtetransport door capaciteitsbegrensde leidingen nodig is voor leveringstemperaturen van rond de 90 °C, nemen we maximale nettemperaturen tot 130 °C aan. Voor deze modellering nemen we de methode uit de studie [IF Technology studie van de TU Delft](#) over, waarbij we de retourtemperaturen variëren in de gevoeligheidsanalyses.

Methode modellering

3. Aannames warmtenetberekeningen(2/2)

Verdere vaste kengetallen die we gebruiken zijn onder andere het vermogen van de bron- en injectiepomp in relatie tot het vermogen van de put en de HT-ATES, de maximale vermogensverhouding ATES/geothermie (60%), de lengte van het distributienet, de warmteverliescoëfficiënt.

Deze kengetallen zijn terug te vinden in de bijlage.

Op basis van deze aannames berekenen we leidingverliezen, uurlijkse warmtepomp COP en de installatie-inzet van bronnen, pompen, warmtepomp, en gasketel. We rekenen voor deze modellering geen etmaalbuffering mee. Dit kan operationeel ingezet worden om de inzet van warmtepompen te verbeteren en traagheid in het distributiesysteem te gebruiken om pieken af te vlakken. Hierdoor overdrijft de modellering de reactiviteit op de warmtevraag, in werkelijkheid kan door traagheid en buffering de uurlijkse piekvraag iets worden gedempt, voor de absolute piek en jaarverbruik heeft dit geen effect.

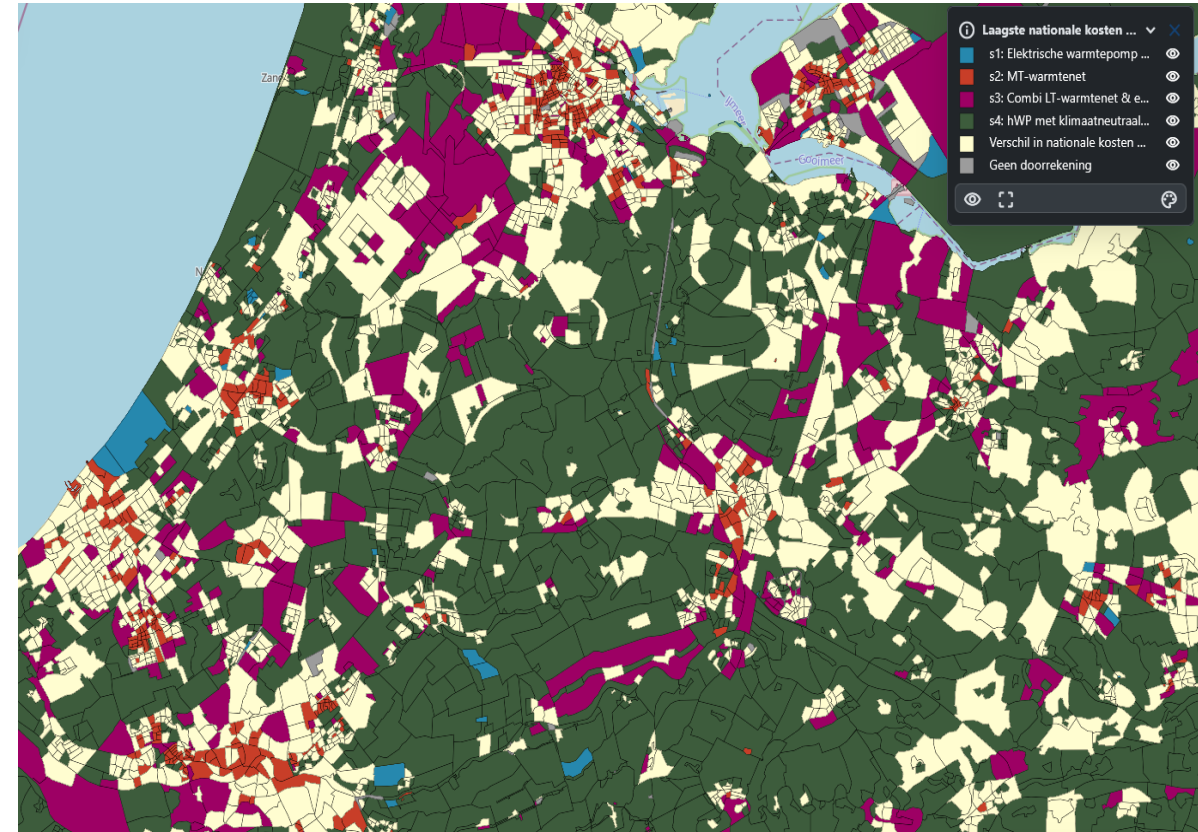
Methode modellering

4. All-electric en hybride warmtepompen

In wijken waar middentemperatuurwarmtenetten maatschappelijk kosteneffectief kunnen zijn, zijn gebouwen vaak nog niet geschikt voor all-electric warmtepompen. Om lagetemperatuurverwarming mogelijk te maken, moeten gebouwen doorgaans (fors) worden geïsoleerd.

Dit verlaagt de warmtevraag van de woningen aanzienlijk. De all-electric warmtepomp is in dit onderzoek niet per uur gemodelleerd. In plaats daarvan is gebruikgemaakt van kengetallen van Liander en de Startanalyse van PBL. Van Liander zijn kengetallen ontvangen voor de elektrische vermogensvraag per type warmtepomp en per gebouw, gebaseerd op gebouwtype en oppervlakteklasse.

Het effect van isolatie en het resulterende jaarverbruik voor all-electric warmtepompen zijn bepaald met de resultaten van de Startanalyse 2025: S1a (luchtwarmtepomp), S1b (bodemwarmtepomp) en S4b (hybride luchtwarmtepomp) voor de betreffende wijken.



kaartviewer.startanalyse2025.nl

Validatie modellering

Omdat moderne MT-warmtenetten op geothermie in Nederland nog nauwelijks voorkomen is er beperkt informatie en data beschikbaar om onze gemodelleerde inzichten mee te staven. Om de inzichten uit deze studie te valideren doen we het volgende:

- **Bureaustudie:** We baseren onze modellering van de geothermiebron en het warmtenet deels op modellering zoals onder andere toegepast door [TNO](#) en [IF Technology](#). We vergelijken of onze uitkomsten consistent zijn met deze studies.
- **Praktijkdata:** Van EBN en netbeheerders ontvingen we voor dit onderzoek projectgegevens over geothermienetten die in gebruik of ontwikkeling zijn. We ontvingen data over onder andere puteigenschappen zoals temperatuur, debiet, inzet van warmtepomp en/of wkk, maar ook de elektrische loads voor zaken als de ESP zoals gebruikt voor aanvraag van de netaansluiting. We vergeleken deze praktijkdata en vermogensaanvragen met de resultaten van onze modellering.
- **Interviewgesprekken:** We spraken Stedin, Capturam en HVC waarin we onder andere de gehanteerde methodiek en de modelresultaten ter validatie voor hebben gelegd.

Basisscenario en gevoeligheidsanalyses

We hebben een hoofddoorrekening gedaan en verschillende gevoeligheidsanalyses.
In de bijlage zijn de modelinstellingen voor alle analyses opgenomen.

Hoofddoorrekening

Basisscenario

- Typische warmtenetbuurt.
- MT-warmtenet.

Gevoeligheidsanalyses

Gebouwde omgeving

Gevoeligheidsanalyse 1:

Verschillende put- en nettemperaturen in een nieuw MT-net.

Gevoeligheidsanalyse 2:

Verschillende nettemperaturen in een bestaand HT-warmtenet.

Gevoeligheidsanalyse 3:

Betere isolatie gebouwvoorraad.

Gevoeligheidsanalyse 4:

Andere dimensionering geothermiebron in net.

Glastuinbouw

Glastuinbouw gunstig:

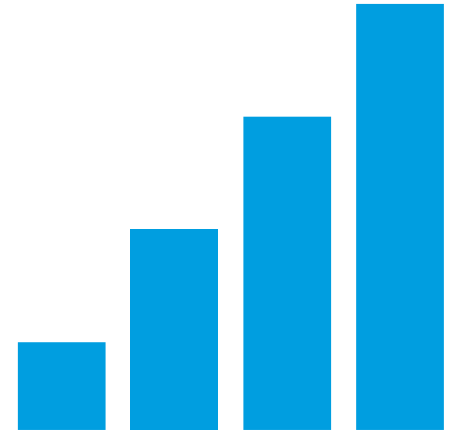
Geen opwaardering warmte uit geothermieput nodig.

Glastuinbouw ongunstig:

Opwaardering warmte uit geothermieput nodig.

3. Resultaten

Inzichten, gevoeligheden, validiteit en conclusies



Resultaten

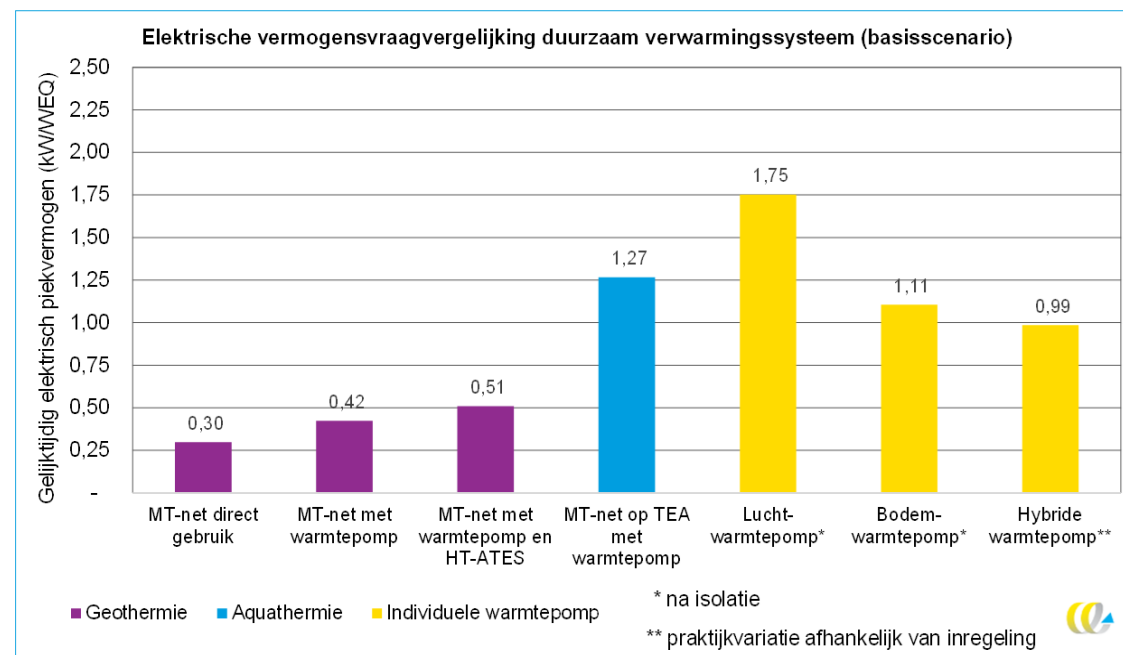
- 1 Vergelijking modeluitkomsten tussen systemen in het **basisscenario**.
- 2 **Gevoeligheidsanalyse** op modelaannames rond geothermie.
- 3 **Validatie van aannames en uitkomsten** op basis van praktijkprojecten en interviews.
- 4 **Kwalitatieve beoordeling** van geothermie en alternatieven.

Elektrische piekvermogensvraag: Basisscenario



Resultaat

Geothermienetten hebben in bijna alle gevallen een lagere elektrische vermogensvraag dan all-electric warmtepompen. Het transport-vermogen dat de netbeheerder voor deze netten moet reserveren is daarmee lager dan voor all-electric warmtepompen.



Geothermie vraagt in de basis altijd minder van het net. Door de geothermieput te combineren met een warmtepomp neemt de vermogens-vraag toe, echter kan er dan wel meer warmte uit dezelfde put worden gehaald. Bij toepassing van een warmtepomp en HT-ATES neemt de vermogensvraag verder toe, omdat er extra warmtepompvermogen nodig is. In onze modellering wordt een deel van de warmtevraag met gas ingevuld, dit aandeel daalt bij gebruik van warmtepomp en HT-ATES. Zie dit effect ook terug in de volgende slide. Alternatief op de warmtepomp zou hiervoor ook gekozen kunnen worden voor gas.

Aquathermie heeft voor dit specifieke net een temperatuursprong van 80 °C nodig op het koudste moment in de winter, waardoor er veel elektrisch vermogen nodig is.

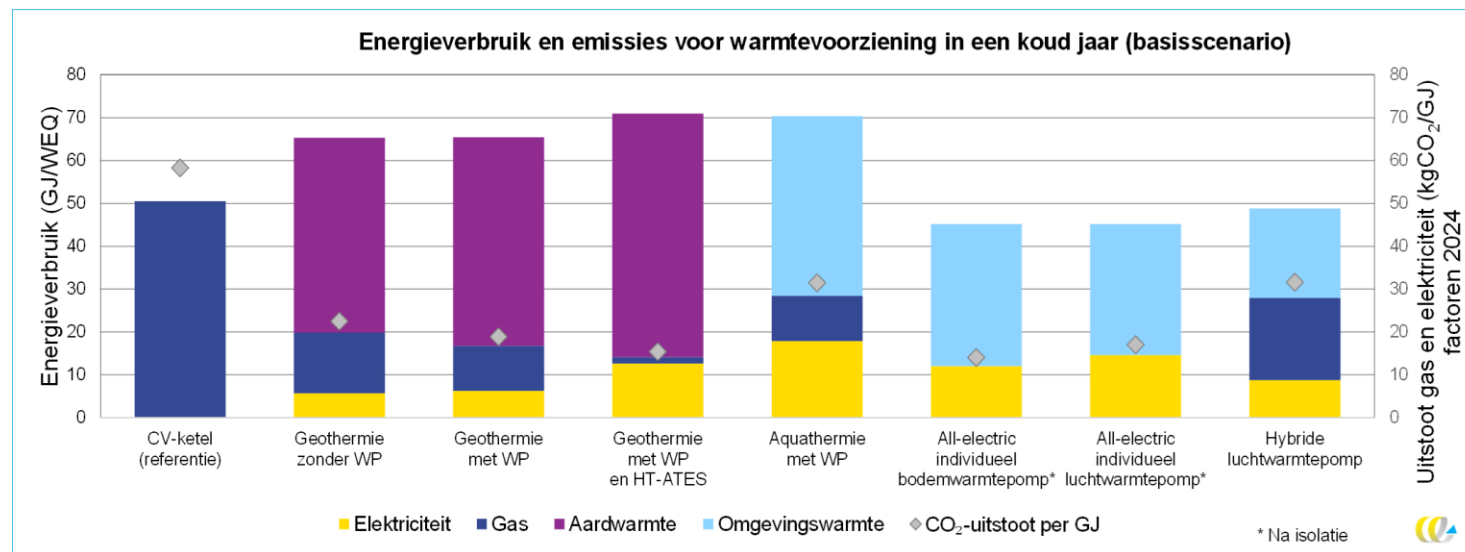
Warmtepompen: De all-electric luchtwarmtepomp vraagt meer elektrisch vermogen dan aquathermie, omdat het in de winter efficiënter is om warmte uit water te onttrekken dan uit koude lucht. Een bodemwarmtepomp vergt minder vermogen dan aquathermie: de bodem is doorgaans warmer dan het oppervlaktewater, waardoor de pomp efficiënter werkt. Bovendien heeft de bodemwarmtepomp geen verliezen via een warmtenet. Een hybride variant vraagt dankzij het gebruik van gas zelfs nog minder vermogen dan de bodemwarmtepomp.

Energiegebruik: Basisscenario



Resultaat

Het totale energiegebruik stijgt bij toepassing van warmtenetten omdat er gecompenseerd moet worden voor distributieverliezen, in het geval van de HT-ATES ook voor opslagverliezen. De gebruikte aardwarmte (en omgevingswarmte bij andere opties) zijn echter duurzaam en hernieuwbaar. Gekeken naar de energiedragers, elektriciteit en gas daalt de CO₂-uitstoot (emissiefactoren voor 2024) altijd ten opzichte van een referentie-gasketel. Bij all-electric warmtepompen daalt deze verder omdat er geen gas meer nodig is, bovendien is er voor deze wijk isolatie nodig om deze opties te kunnen gebruiken. Ondanks dat de vermogensbehoefte van geothermie (bij ongeïsoleerde woningen) lager is dan van de alternatieven (vorig figuur) is de elektriciteitsbehoefte van geothermieprojecten op jaarbasis vergelijkbaar met die van warmtepompen (bij goed geïsoleerde woningen). Dit komt doordat de COP van geothermie hoger is, waardoor minder vermogen nodig is, terwijl woningen met warmtepompen beter geïsoleerd zijn en daardoor in totaal minder energie vragen.



* Voor het energiegebruik van de all-electric-varianten is aangenomen dat de woningen geïsoleerd zijn. Bij deze varianten is de warmtevraag van een weq 7,5% lager dan bij de andere varianten.

Aandachtspunten:

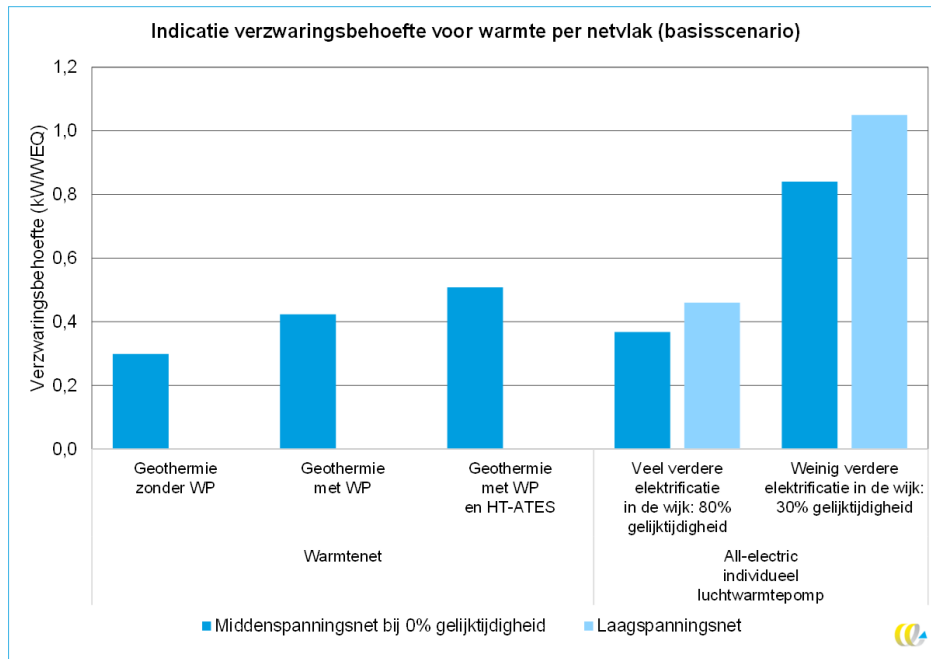
Niet meegenomen in dit figuur is winning en toepassing van geogas. Afhankelijk van de reservoir eigenschappen zijn verschillende toepassingen mogelijk, die de duurzaamheid van de energielevering beïnvloeden. Een verder aandachtspunt is dat de emissiefactor van elektriciteit dalende is. In 2015 was deze 0,53 kg CO₂/ kWh, volgens de KEV 2024 is dit in 2025 nog maar 0,19 en in 2035 na vastgesteld en voorgenomen beleid 0,06. De emissiefactor van gas daalt minder snel.

In de Wet Collectieve Warmte is een duurzaamheidseis van 25 kg CO₂/GJ opgenomen voor 2030. De uitstoot weergegeven in deze figuur is niet goed daarmee te vergelijken, omdat de emissiefactoren nog veranderen richting 2030.

Verzwaringsbehoefte: Basisscenario



Voor het realiseren van geothermie en warmtenetten is in absolute zin vrijwel altijd minder netverzwaring nodig dan voor individuele technieken. Voor warmtenetten is de verzwaring vrijwel enkel op het MS-net nodig, voor individuele verwarmingstechnieken ook op het LS-net.



De bandbreedte voor gelijktijdigheid van warmtepompen met andere elektriciteitsvraag in de wijk is gebaseerd op de studie '[Dynamische elektriciteitscontracten en netcongestie](#)' (2025) waarin we de ontwikkeling van netgebruik bij toenemende elektrificatie onderzochten in uiteenlopende woonwijken.

Voor de elektrische installaties voor zowel het warmtenet als individuele warmtepompen is transportvermogen op het elektriciteitsnet nodig:

- Voor een **collectief warmtenet** is vooral transportvermogen nodig op het middenspanningsnet. De piekvraag is grotendeels geheel additioneel bovenop de bestaande belasting, waardoor het merendeel van de extra vermogensvraag ook als verzwaring gerealiseerd moet worden. We laten daarom hier de situatie voor MS zien bij 0% gelijktijdigheid met ander netgebruik.
- Voor een **individuele warmtepomp** is transportvermogen op zowel het LS-net als het MS-net nodig. Het LS-net moet waarschijnlijk ook al verwaard worden voor andere ontwikkelingen, zoals het laden van elektrische voertuigen. Of en hoeveel er extra verwaard moet worden voor warmte (additionele verzwaring) is afhankelijk van de andere elektriciteitsvragers in de wijk. Bij meer elektrificatie in de wijk, is de additionele verzwaring voor verwarmen kleiner, bij minder elektrificatie is dit juist groter. De bandbreedte is weergegeven in de figuur. Capaciteit die op het LS-net wordt bijgebouwd, moet ook op het MS-net worden bijgebouwd. Gezamenlijk is de netverzwaringsbehoefte door individueel verwarmen daarom groter dan bij collectief met geothermie.

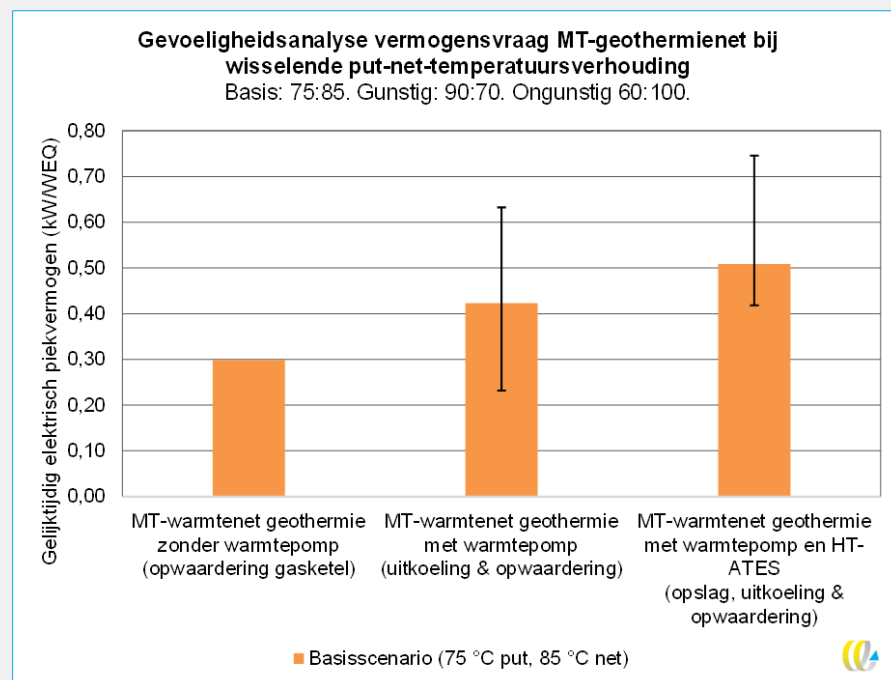
Gevoeligheidsanalyse 1: Gebouwde omgeving

Wisselende put-nettemperatuurverhoudingen



Resultaat

De relatie tussen de aardwarmtetemperatuur en de behoefte van het net zijn van zeer grote invloed op de vermogensvraag van het warmtesysteem zodra een warmtepomp wordt gebruikt. Bij warmtepompen geldt immers dat hoe hoger de temperatuurlift, hoe meer elektriciteit er nodig is. We zien hier voor een geothermie-installatie met warmtepomp een piekvermogensvraag van tot ~0,25 kW indien er enkel uitkoeling van de retour wordt gedaan, en een totale vermogensvraag tot wel 0,65 kW/WEQ (+0,4) wanneer er een 40°C temperatuursprong nodig is.



Wat nemen we hier aan?

De temperaturen van de aardwarmte en die het net nodig heeft om in de winter aan de vraag te voldoen verschillen in de praktijk. In deze gevoeligheidsanalyse nemen we voor de aardwarmte een range van 60 tot 90 °C aan, en voor het max. MT-net-temperatuur een range van 70 tot 100 °C. We laten drie variaties zien: het basis-scenario (75 put, 85 net), het meest gunstige scenario (90 put, 70 net) en het meest ongunstige scenario 60 put, 100 net).

In de *resultaten zonder warmtepomp* maakt de put-netverhouding niet uit voor het elektrisch vermogen omdat we in onze modellering uitgaan van opwaardering met gas. Niet zichtbaar in dit specifieke figuur is hoe de gasvraag en emissies veranderen bij wisselende put-nettemperatuurverhoudingen.

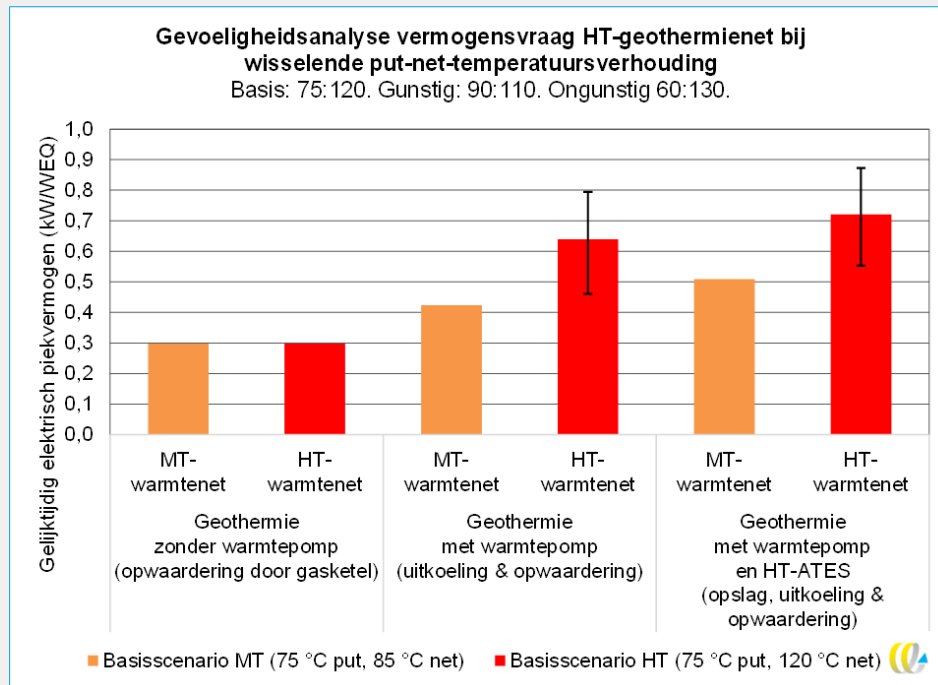
Gevoeligheidsanalyse 2: Gebouwde omgeving

Wisselende put-net temperatuurverhoudingen in een bestaand HT-net



Resultaat

Geothermie-inzet voor bestaande warmtenetten heeft, wanneer er een warmtepomp wordt gebruikt voor opwaardering tot hoge nettemperaturen, een aanzienlijk hogere vermogensvraag als gevolg. Vergeleken met het MT-basisscenario (geothermie met WP) is het piekvermogen voor het HT-scenario anderhalf keer hoger. Qua piekvermogen kan inzet van geothermie in HT-netten in ongunstige gevallen in de ordegrootte van een individuele hybride warmtepomp of bodemwarmtepomp (na isolatie en met lage afgifte) komen te liggen.



Wat nemen we hier aan?

We doen hier dezelfde put-nettemperatuur gevoeligheidsanalyse als voor het MT-net, maar nemen fors hogere nettemperaturen aan, die overeenkomen met nettemperaturen van bestaande netten. We hebben hier een range van 110 tot 130 °C aangenomen.

Deze temperatuurrange gaan uit van een situatie waarbij de geothermie-warmte een grote afstand moet worden getransporteerd en/of door capaciteitsbeperkte leidingen op hoge temperaturen (~90 °C) moet worden afgeleverd. Als de geothermiebron dicht bij afname wordt gerealiseerd, en de aflevertemperatuur lager is, zijn ook lagere temperaturen dan in de aangenomen range mogelijk. Net als in gevoeligheidsanalyse 1 gaan we in de situatie zonder warmtepomp uit van opwaardering met gas. Wisselende put-nettemperatuurverhoudingen hebben effect op hoeveel gas er gebruikt wordt in het net.

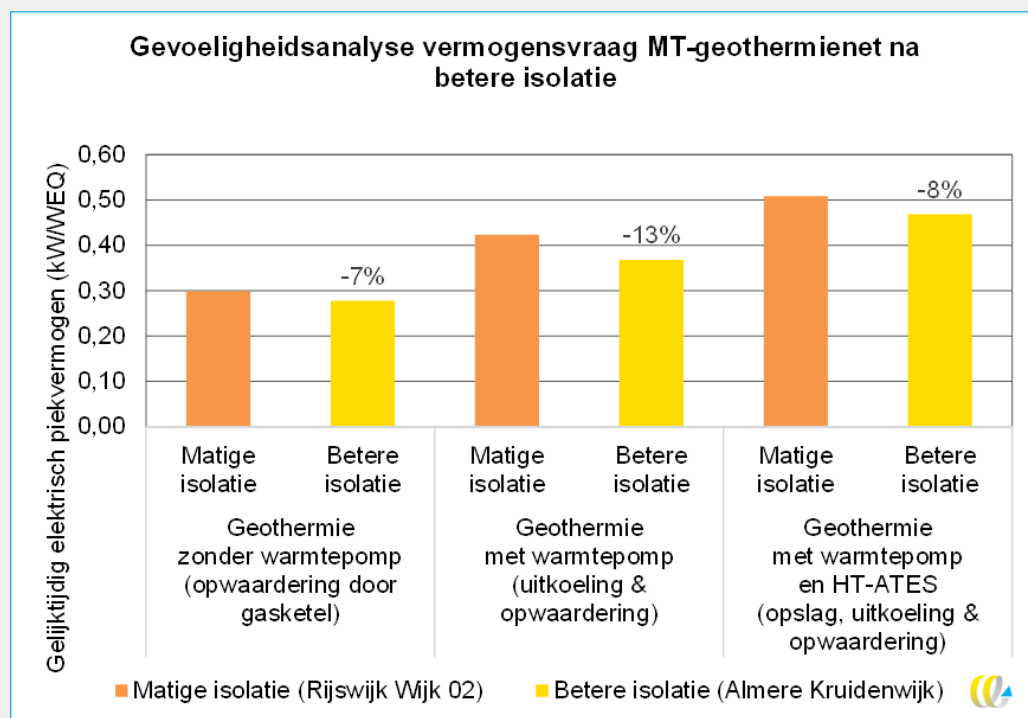
Gevoeligheidsanalyse 3: Gebouwde omgeving

Betere gebouwisolatie



Resultaat

Wanneer woningen worden nageïsoleerd verandert het warmtevraagprofiel. Met name in de schouders van het stookseizoen is er minder warmtevraag, en ook de piekwarmtevraag daalt. Bij een gelijkblijvend warmtenet (zelfde installaties en aansluitingen) verandert hierdoor de vermogensvraag van het elektriciteitsnet. Zowel de circulatiepomp als eventuele warmtepompen hoeven minder energie te leveren waardoor het piekvermogen overal afneemt. Bij nieuwbouwwijken zal het effect groter zijn.



Wat nemen we hier aan?

Het warmtevraagprofiel baseren we hier op een goed geïsoleerde wijk met hoge warmtevraag (specifiek de Kruidenwijk in Almere) in hetzelfde weer-jaar, 2013. Voor de rest houden we de rekenaannames gelijk, zoals de productietemperatuur van de put- en de nettemperatuur. De resultaten van de verschillende wijken normaliseren we op de typische woninggrootte en het aantal weq van Rijswijk zodat de resultaten tussen de twee doorrekeningen vergelijkbaar zijn. Het isolatie-effect komt neer op een piekreductie van 5% en een vraagreductie van 25% (zie de bijlage voor een vergelijking van de warmtevraagprofielen).

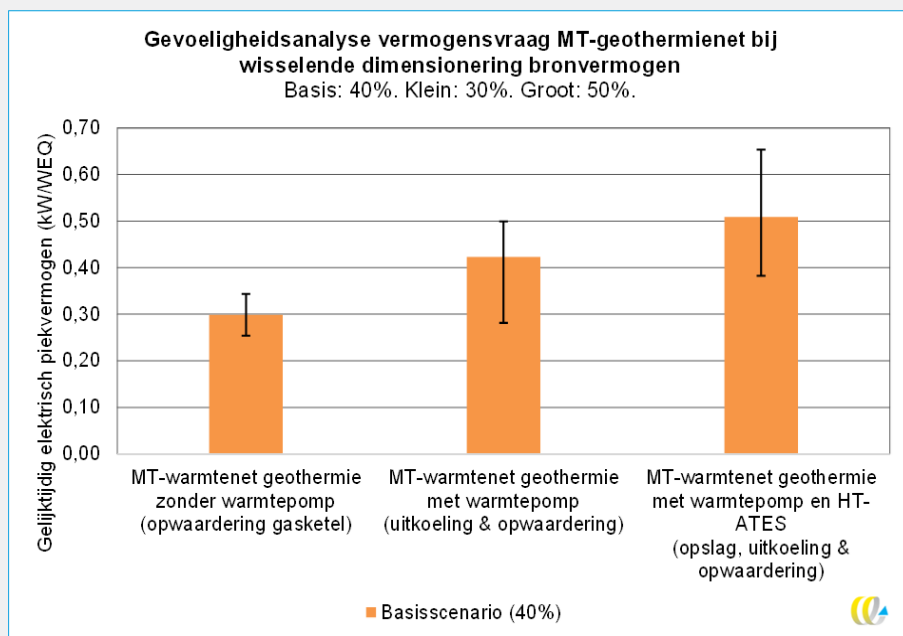
Gevoeligheidsanalyse 4: Gebouwde omgeving

Grotere of kleinere dimensionering geothermiebron



Resultaat

Hoe groter de geothermiebron wordt gedimensioneerd ten opzichte van de totale vraag, hoe meer elektrisch vermogen er nodig is voor de installaties. Het effect op de elektrische vermogensvraag in de drie doorgerkende varianten is redelijk lineair. Bij wijzigingen in de geothermiedimensionering ten opzichte van de piekvraag verandert wel het aantal vollasturen en de dekkingsgraad van de geothermiebron voor het net. Bij dezelfde vraag en een grotere geothermie-installatie stijgt het percentage van de totale warmte uit geothermie, maar daalt het aantal vollasturen. Omdat geothermiekosten voornamelijk in de investering zitten wordt de warmte per geleverde hoeveelheid relatief duurder.

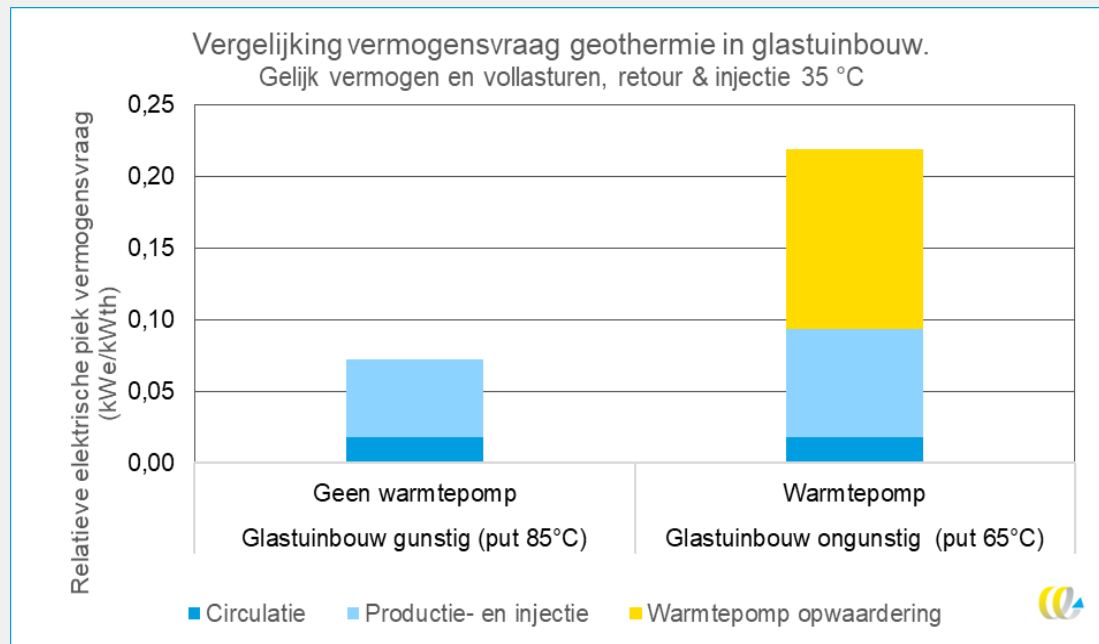


Wat nemen we hier aan?

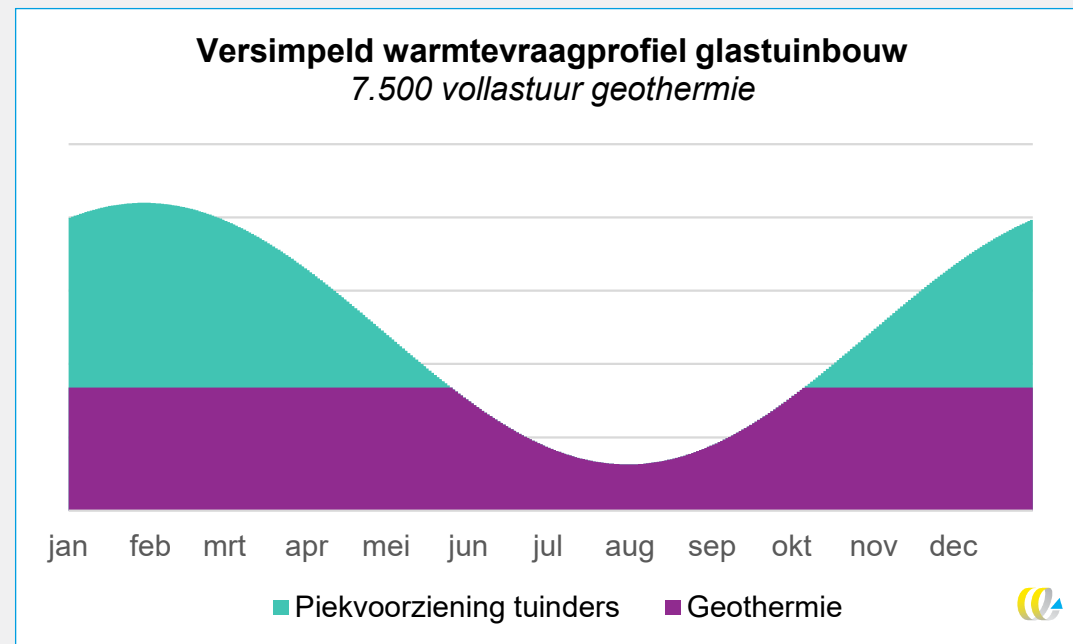
De geothermiebron heeft een bepaald vermogen ten opzichte van de maximale vermogensvraag in het net. In onze berekening gebaseerd op Rijswijk gaan we standaard uit van 40% van de piekvraag. Dat is grofweg 20 MW op een piekvraag van 50 MW (~7,5 kW/WEQ).

Bij een bronvermogen van 40% resulteert het gebruikte profiel in een geothermie-dekking van 84%. De overige 16% wordt dan met gas ingevuld. Bij 30% is de dekking 71%, bij 50% is de dekking 92%. In de variant met HT-ATES (capaciteit van 60% van geothermie, standaard dus 12 MW) liggen de dekkingspercentages van geothermie plus het ontladen van de seizoen-buffer bij 30% op 90%, bij 40% op 98%, en bij 50% op 100%.

Gevoeligheidsanalyse glastuinbouw



Door het meer constante vraagprofiel van glastuinders en de betere uitkoeling kan een geothermiebron in de glastuinbouw beter worden benut dan in de gebouwde omgeving. Het benodigd elektrisch vermogen per eenheid thermisch vermogen van deze netten is iets lager, maar vergelijkbaar met de situatie voor de gebouwde omgeving. Het aantal vollasturen (de jaarproductie) van dezelfde bron voor de glastuinbouw is echter *substantieel hoger*. In deze analyse kan de bron voor de glastuinbouw zo'n 7.500 vollasturen draaien, tegenover de 4.300 tot 4.700 in het basis-scenario voor de gebouwde omgeving.



Wat nemen we hier aan?

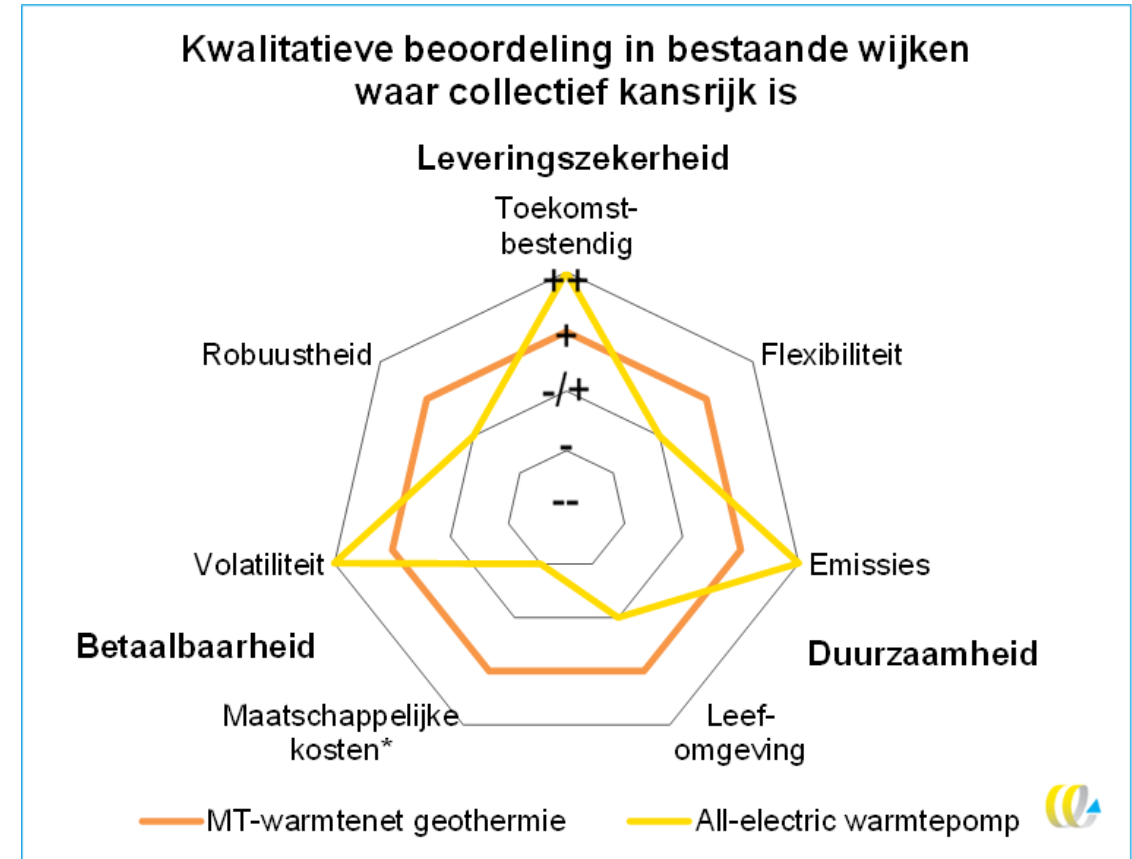
Voor glastuinbouw hebben we geen gedetailleerd vraagprofiel beschikbaar. In plaats daarvan zijn we na afstemming in interviews uitgegaan van een versimpeld vraagprofiel zoals hier weergegeven. De geothermiebron is weer gedimensioneerd op 40% van de piekvraag, waarmee deze op jaarbasis 7.500 vollasturen draait. Verder nemen we in deze analyses aan dat de retourtemperatuur lager voor toepassing in glastuinbouw lager ligt dan in de gebouwde omgeving, 35 °C.

Kwalitatieve beoordeling

Aanvullend op kwantitatieve analyse vergelijken we geothermienetten aan de hand van het trilemma van energiebeleid (leveringszekerheid, duurzaamheid, betaalbaarheid) kwalitatief met all-electric warmtepompen. De beoordelingsscope is beperkt tot wijken waar collectieve oplossingen op MT-temperaturen kansrijk worden geacht. Volgens de [Startanalyse 2025 van het PBL](#) is dit op basis van de laagste maatschappelijke kosten het geval voor 1,2 tot 2,5 miljoen aansluitingen. Voor de overige bijna 6 miljoen aansluitingen zijn hybride en all-electric warmtepompen overwegend de meest kansrijke optie.

Binnen de trilemma-doelen operationaliseren we diverse deelcriteria, deze worden beoordeeld op een vijfpuntenschaal (++ tot --). Deze beoordeling is gedaan op basis van de eigen inschatting van CE Delft, en motiveren we in de volgende slides.

Het is niet het doel van deze beoordeling om een objectief 'beste' techniek aan te wijzen. Met deze vergelijking geven we inzicht in meer genuanceerde verschillen tussen geothermiewarmtenetten en all-electric warmtepompen. We oordelen dat geothermienetten in deze wijken voor de meeste criteria beter scoren dan warmtepompen, hoewel er ook aspecten zijn waarop warmtepompen beter scoren.



* Beoordeling omdat we voor warmtenetten in principe alleen kijken naar wijken waar collectief kostentechnisch kansrijk is.

Leveringszekerheid (1/2)



Leveringszekerheid betekent continuïteit van de energievoorziening, op elk moment van de dag en in elk seizoen. Dit vraagt om betrouwbare bronnen, een goed werkend netwerk, en zekere mate van redundantie wanneer opties wegvallen.

Robuustheid. Warmtenetten maken gebruik van een bronnenmix en hebben altijd een back-upinstallatie in geval van storingen bij de bron. In geval van storing in distributie kan tijdelijk de levering gestokt worden. Warmtepompen zijn dan weer volledig afhankelijk van het elektriciteitsnet, waarvoor genoeg productie en transportvermogen beschikbaar moet zijn.

Geothermienetten en all-electric warmtepompen zijn vergelijkbaar robuuste systemen, op maatschappelijk niveau legt gebruik van geothermie (+) minder druk op water voor opwekvermogen van elektriciteit nodig is dan warmtepompen (+/-).

Toekomstbestendig. Geothermienetten hebben aanvankelijk vaak nog een pieklast op gas, waarvoor later extra verduurzaming nodig is. Uit de analyse blijkt verder dat wanneer woningen beter geïsoleerd worden het verschil met warmtepompen kleiner wordt. Wanneer een individuele warmtepomp kan worden gerealiseerd is een gebouw noodzakelijkerwijs klaargemaakt voor verwarming op lage temperatuur. Deze warmtepompen kunnen steeds vaker ook koelen, terwijl MT-warmtenetten dat niet kunnen. Voor actieve koeling in warmtenetwoningen is daarom een airco nodig, met extra netimpact. Warmtepompwoningen zijn daardoor direct toekomstbestendiger, al blijven passieve koelmaatregelen in beide gevallen het meest energiezuinig.

Zowel geothermienetten als all-electric warmtepompen zijn duurzame eindoplossingen voor verwarmen van gebouwen. In een warmtenet (+) veranderen in de toekomst bij bron en afnemer nog enkele zaken. Bij all-electric (++) gebeurt dit noodzakelijkerwijs aan de voorkant al.

Leveringszekerheid (2/2)



Flexibiliteit. Het elektriciteitssysteem met steeds meer zon en wind is gebaat bij het ontsluiten van flexibiliteit, zodat er gereageerd kan worden op variabiliteit in opwek. Warmtenetten kunnen door middel van warmtepompen en e-boilers in combinatie met buffers een mate van afnameflexibiliteit aanbieden aan de netbeheerder. HT-ATES verplaatst een deel van de energievraag van schaarste periodes in de winter naar overvloedperiodes in de zomer. Hiervoor zijn diverse contractvormen in ontwikkeling, hoewel deze voor zover bekend nog niet worden toegepast. All-electric-systemen vragen vaker en meer stroom op momenten van congestie. Individuele warmtepompen, zeker in combinatie met buffers, kunnen flexibel reageren op prijssignalen. De markt en technologie hiervoor is nog in ontwikkeling. Prijssignalen geven vaak, maar (nog) niet altijd, de prikkel die lokaal vanuit het net gezien nodig is. Het is nog onduidelijk hoeveel van deze potentiële flexibiliteit economisch haalbaar te ontsluiten is.

Geothermienetten en all-electric warmtepompen hebben beide potentie om flexibel gebruik te maken van het elektriciteitsnet.

De ontsluiting van flexibiliteit is eenvoudiger te organiseren bij geothermienetten (+) dan bij warmtepompen (+/-) .

Duurzaamheid (1/2)



Duurzaamheid betreft de gevolgen van keuzes op natuur, leefomgeving en klimaat. Dat raakt aan de uitstoot van broeikasgassen, van hernieuwbare bronnen zoals zon en wind, aandacht voor schone lucht, geluidsoverlast en een gezonde, omgeving om in en rond te wonen en werken.

Emissies. Geothermie-warmtenetten gebruiken een mix van bronnen waarvoor in ieder geval elektriciteit en voorlopig voor de piek ook vaak gas nodig is. Daar staat tegenover dat all-electric warmtepompen vaker elektriciteit gebruiken op momenten dat er gascentrales nodig zijn om de stroom op te wekken. All-electric warmtepompen zijn echter veel efficiënter, en voor de wijken waar we naar kijken zal ook isolatie nodig zijn waardoor de energievraag daalt. Dit, terwijl er in warmtenetten distributieverliezen zijn om rekening mee te houden. Ten slotte zijn er voor beide technieken maakemissies, maar vergeleken met energie gerelateerde emissies zijn deze overwegend beperkt.

Geothermienetten (+) resulteren in een emissiedaling t.o.v. gasketels, maar all-electric warmtepompen (++) zijn efficiënter met hun energieverbruik en zullen vanwege distributieverliezen en voorlopig fossiele piekinstallaties lagere emissies kennen dan geothermienetten.

Duurzaamheid (2/2)



Leefomgeving. Een geothermienet wordt vooral ondergronds aangelegd. Hiervoor moet eenmalig de grond opengebroken en is ruimte nodig voor een warmtecentrale en onderstations. Buitenunits van een all-electric luchtwarmtepomp daarentegen zijn zichtbaar, hoorbaar en hitte voelbaar op straat. Evengoed moet hiervoor de straat open voor eventuele netverzwaring, maar in de meeste woonwijken in Nederland moet dit toch al gebeuren vanwege onder andere de elektrificatie van voertuigen. Bij bodemwarmtepompen heb je deze nadelen minder of niet, maar dit type is vaak lastiger in te passen in dichtbevolkte bestaande bouw. Binnen de woning is een afleverset vrijwel altijd minder ingrijpend dan een warmtepomp met buffervat en eventueel aanpassingen aan isolatie en afgiftesysteem. In kleine (meergezins)woningen kan uitvoering hiervan door ruimtelijke beperkingen zeer kostbaar zijn. Daar staat tegenover dat het comfortniveau binnenshuis door deze ingrepen hoger is dan bij een warmtenet. Dit komt door de hogere isolatiegraad, eventuele verbetering van ventilatie en de mogelijkheid om te koelen.

Met de kanttekening dat er voor geothermienetten ook een ruimtelijke impact bestaat, is deze overwegend minder ingrijpend (+) in de leefomgeving van een dichtbevolkte wijk met bestaande bouw dan de ruimtelijke impact van warmtepompen (-).

Betaalbaarheid



Betaalbaarheid betekent dat energie voor iedereen te betalen moet blijven. Hiertoe zijn onder andere efficiënte systeemkeuzes en de voorspelbaarheid van de energierekening belangrijk. Belasting, subsidiëring- en financieringsbeleid leidt uiteindelijk tot de hoogte van de rekening van de gebouw-gebruiker, maar omdat specifiek voor warmtenetten hier in beleid nog veel in ontwikkeling is en uiteindelijk een maatwerkaanbod zal worden gedaan, laten we deze buiten beschouwing.

Maatschappelijke kosten. Nieuwe geothermienetten worden hoofdzakelijk onderzocht voor wijken waarbij de maatschappelijke kosten van het warmtenet (de bronnen, infrastructuur en gebouwaansluiting) lager zijn dan de maatschappelijke kosten voor met name het na-isoleren en aanpassen van vaak oude, kleine gebouwen om gebruik te kunnen maken van een warmtepomp.

Geothermienetten (+) hebben voor het type wijken waar we naar kijken bijna in de regel lagere maatschappelijke kosten dan all-electric warmtepompen (-).

Volatiliteit. Een volatiele energierekening is een rekening waar externe schokken grote effecten kunnen hebben op de hoogte van de rekening, zoals we dat zagen tijdens de gascrisis 2021-2022. De kosten van warmtenetten zijn gereguleerd en de kosten van de geothermie zijn relatief voorspelbaar omdat vooral de financieringslasten van de investering zwaar weegt. Hetzelfde geldt voor HT-ATES. De kosten van de piekvoorziening, als deze gas zijn, zijn echter wel volatiel. Zowel het warmtenet als de warmtepompkosten zijn gerelateerd aan de elektriciteitskosten. Voor de woningeigenaar zijn deze kosten met een vast of variabel contract redelijk voorspelbaar, met een dynamisch contract niet, maar daarmee zijn ze beheersbaar. Overwegend zijn de investeringskosten hoger voor warmtepompen dan warmtenetten, en zijn de operationele kosten (energie, onderhoud) een stuk hoger bij het warmtenet dan de warmtepomp.

De kostenvolatiliteit is voor zowel geothermienetten (+) als all-electric warmtepompen (++) beperkt wanneer vergeleken met een gasketel. Bij all-electric warmtepompen is een groter deel van de kosten van tevoren gedaan en zijn de operationele kosten, hoewel minder voorspelbaar dan bij warmtenetten, lager in absolute zin.

Inzichten interview Stedin

Expertise Stedin. De geïnterviewde medewerker van netbeheerder Stedin werkt aan de energietransitie rekenmodellen die gebruikt worden voor de lange termijn netgebruiksprognoses waarmee investeringen in het net worden onderbouwd.

Reflectie op modelresultaten. Stedin kan zich op basis van de kennis die ze nu hebben herkennen in de uitkomsten en heeft feedback geleverd op de presentatie van figuren.

Stedin benadrukt de diversiteit in situaties die in de praktijk voorkomen waardoor de vermogensgetallen voor deze specifieke casus niet een-op-een moeten worden aangenomen voor heel Nederland. De verhoudingen tussen de verschillende technieken zijn beter vertaalbaar.

Verdere inzichten en aandachtspunten

- De netbeheerder rekent met weerjaar 1987, wij met 2013. De minimale temperatuur in dat jaar was -15°C , in 2013 was dit -13°C . Het was langere periodes achter elkaar koud in 1987. Het weerjaar 1987 (of 2012, die redelijk vergelijkbaar is met 1987) is echter niet beschikbaar in de door ons gebruikte Warmteprofielengenerator.

- De netbeheerders zijn op dit moment bezig met het harmoniseren van de aannames op het gebied van warmte in het laagspanningsnet. Uitkomsten uit dit traject kunnen nog niet worden gedeeld voor gebruik in deze studie.
- Stedin verwacht door adoptie van elektrische auto's en zon-pv uiteindelijk niet heel veel minder te moeten verzwaren in buurten door toepassing van collectieve warmtenetten. Wel hoeft dit pas later in de tijd, wanneer de autonome groei van elektriciteitsvraag voor warmtepompen kan worden vermeden. Hierdoor kan de netbeheerder hun beschikbare middelen efficiënter plannen om spanningsproblemen te voorkomen en verzwaringen daar waar ze nodig zijn te realiseren.
- Flexibiliteit in aansturing van warmtetechnieken (dan wel individueel, dan wel collectief) wordt door Stedin nu (nog) niet meegenomen in verzwaringsprognoses. Naar dit effect loopt nog een onderzoek. Wel gaat Stedin voor collectieve warmtenetten er standaard vanuit dat het warmtenet bufferingsmogelijkheid heeft, in ieder geval in de leidingen, naar de toekomst steeds vaker ook in een buffertank.

Inzichten interview Capturam

Situatie Capturam. Capturam is actief in het Westland en Midden-Delfland en heeft daar al meerdere jaren geothermie-projecten lopen. Geothermie wordt voornamelijk toegepast in de glastuinbouw, in (nog) mindere mate aan de gebouwde omgeving. In het netgebied van Capturam is voldoende transportcapaciteit voor afname en invoeding van elektriciteit beschikbaar.

Relevante eigenschappen geothermietoepassing in het Westland:

- Hoge puttemperaturen, circa 85 °C, waardoor er geen warmtepomp voor opwaardering nodig is.
- Relatief veel geogaswinning. Deze wordt vaak direct toegepast in wkk's om elektriciteit en warmte te produceren voor eigen verbruik en teruglevering aan het warmtenet dan wel elektriciteitsnet.
- Tuinders hebben het liefst zo hoog mogelijke aanvoertemperaturen, bij hogere temperaturen is opslagcapaciteit van de buffertanks van tuinders groter. Op basis van gasketels/wkk's zijn ze ~95 °C gewend, temperaturen zo laag als 65 °C zijn in specifieke projecten te laag gebleken om tuinders mee aan te sluiten.
- De retourtemperatuur bij de put ligt tussen de 30 en 40°C, waardoor verdere uitkoeling met warmtepompen niet noodzakelijk is.

De situatie voor geothermie in het Westland is door de genoemde eigenschappen gunstiger dan in andere delen van het land.

Reflectie op modelresultaten. Modelresultaten sluiten goed aan bij het beeld van Capturam op basis van hun ervaringen. *Kritische noot* op de vergelijking van de verzwaringsbehoefte: in elke wijk is ongeacht de warmtetechniek verzwaring nodig, de meerkosten zijn niet het probleem, dat is de maakbaarheid in de tijd. Keuze voor collectieve warmtesystemen geven netbeheerders vooral tijd om de nodige verzwaring tijdig te realiseren, voordat er lokaal tekorten ontstaan.

Operationele flexibiliteit. De geothermiepompen zelf (ESP en injectiepomp) hebben operationeel en financieel zeer beperkt mogelijkheid tot flexibele aansturing. Daarvoor zit er onder andere teveel traagheid in het systeem. Geothermie is dusdanig kapitaalintensief dat de pompinstellingen in gerealiseerde projecten, maar tot tweemaal per week aangepast worden. Eventueel kunnen andere assets zoals warmtepompen en warmtebuffers wel flex leveren. In het Westland doen de buffers en wkk's van tuinders dit.

Inzichten interview HVC

Ervaring HVC. HVC ontwikkelt en exploiteert warmtebronnen en levert warmte aan klanten. We spraken een medewerker met financiële achtergrond en projectervaring op de geothermieputten van HVC, met name die in het Westland. HVC ontwikkelt geothermie zowel voor glastuinbouw als voor gebouwde omgeving.

Verschillen tussen geothermie voor de glastuinbouw en geothermie voor de gebouwde omgeving

- Organisatie van een nieuw geothermienet voor de gebouwde omgeving is vanwege het volloopriscio financieel complexer en meer risicovol.
Een geothermiebron voorziet in één keer 5.000 tot 10.000 woningen, HVC ziet 500 aansluitingen per jaar als realistisch. Dit heeft in de volloophase van een project effect op de vermogensvraag per aansluiting.
- De retourtemperaturen bij glastuinbouw liggen in de ervaring van HVC meer dan tien graden lager dan bij gebouwde omgeving. Behalve opwaardering is het vrijwel altijd wenselijk (vanuit duurzaamheid en technisch-economisch) om een warmtepomp op de bron voor uitkoeling toe te passen. Hiermee kan er meer vermogen uit het doublet gehaald worden.

- De warmtevraag in de gebouwde omgeving kent veel meer fluctuaties dan die van tuinders. Hierdoor is het eenvoudiger meer vollosturen te realiseren voor glastuinbouw dan voor gebouwde omgeving. Tuinders hebben een financiële prikkel om hun aansluiting effectief te gebruiken, hebben eigen piekvoorzieningen en gebruiken buffertanks waardoor het debiet van de geothermiepomp veel minder vaak aangepast hoeft te worden dan bij de gebouwde omgeving. Ook is de warmtevraag in de zomer van tuinders relatief hoog, terwijl woningen en utiliteiten dan enkel tapwater gebruiken.

Opties voor ontwikkelaars wanneer er geen elektrisch transportvermogen beschikbaar is

- Gebrek aan transportvermogen kan een showstopper zijn voor een geothermieproject, bijvoorbeeld wanneer daardoor niet voldaan kan worden aan voorwaarden in de vergunning of subsidieregeling. Technisch kan de geothermie-installatie van elektriciteit voorzien worden met extra investeringen in bijvoorbeeld wkk's, maar HVC ziet dit niet als wenselijk. Terugregelen van de geothermiepomp (in geval van flexibel transportvermogen) is kostentechnisch (overwegend CAPEX) en qua duurzaamheid (alternatief is vaak gas) niet aantrekkelijk. Het elektrisch vermogen van een warmtepomp zou eventueel eerder kunnen worden teruggeschakeld, maar hier heeft HVC nog geen ervaringen mee.

| 4. Conclusies

Conclusies, aanbevelingen en discussie



Conclusies (1/2)

Een MT-warmtenet met geothermie als bron legt minder druk op het elektriciteitsnet dan individuele elektrische warmtepompen of een warmtenet met aquathermie als bron.

Alle drie de varianten van geothermienetten die zijn bekeken in deze studie leggen minder druk op het elektriciteitsnet dan individuele warmtepompen of een warmtenet met aquathermie als bron. De meest simpele toepassing van geothermie, zonder warmtepomp of opslag, heeft de laagste elektrische vermogensvraag. Toepassing van een warmtepomp en/of hoge temperatuuropslag verhogen de druk op het elektriciteitsnet, maar bieden wel andere voordelen zoals een lagere gasbehoefte voor het dekken van de piekvraag.

Temperatureigenschappen van het geothermiedoublet en het warmtenet maken veel uit voor het benodigd elektrisch vermogen.

Veel geothermie-ervaring is nu opgedaan in de glastuinbouw. De eigenschappen deze projecten zijn doorgaans gunstiger dan in de gebouwde omgeving, onder andere doordat de vraag bij tuinders meer constant is en tuinders warmte efficiënt weten uit te nutten.

Bij toepassing van geothermie in bestaande HT-warmtenetten is vaak een WP nodig. In dit geval legt geothermie alleen minder druk op het elektriciteitsnet dan individuele warmtepompen als de puttemperatuur hoog genoeg is.

Bij bestaande netten zijn hogere temperaturen vereist. Indien de geothermieput een te lage temperatuur heeft, moet de warmtepomp een zeer grote temperatuurlift realiseren. Dit kan een dusdanige vermogensvraag veroorzaken dat deze vergelijkbaar is met die van individuele warmtepompen.

Keuze voor geothermie in plaats van all-electric in een woonwijk voorkomt niet dat er in de wijk verzwwaard moet worden.

Verzwaring zal waarschijnlijk nodig zijn vanwege andere ontwikkelingen, zoals toename van elektrisch vervoer of zonnepanelen. Wel wint de netbeheerder tijd om de verzwaringen uit te voeren en is er uiteindelijk minder verzwaring nodig.

Conclusies (2/2)

Glastuinbouw kan geothermie eenvoudiger efficiënt benutten dan de gebouwde omgeving.

Tuinders hebben relatief constant vraagprofiel vergeleken met gebouwen. Ook hebben zij een prikkel om het warmtenet zo ver mogelijk uit te koelen. Hierdoor kan de geothermieput efficiënter benut worden. Ook is er minder snel een warmtepomp voor uitkoeling nodig, wat de behoefte voor elektrisch vermogen drukt.

Aanbevelingen

Op basis van de resultaten van dit onderzoek doen we de volgende aanbevelingen:

Prioriteer beschikbare netcapaciteit voor geothermie

Geothermie biedt bij middentemperatuurnetten structureel een lagere belasting van het elektriciteitsnet dan all-electric alternatieven. Het is daarom aan te bevelen om beschikbare netcapaciteit actief te reserveren en te prioriteren voor geothermie. Op die manier kunnen netbeheerders de elektrificatieontwikkeling in woonwijken beheersen en spanningsproblemen voorkomen.

Hou bij het ontwerp van een warmtenet met geothermie rekening met de gevolgen voor het elektriciteitsnet

In warmtenetten moet de brontemperatuur vaak worden opgewaardeerd tot de vereiste nettemperatuur. Dit gebeurt meestal met een warmtepomp, soms in combinatie met seizoensopslag. Zo'n ontwerp kan leiden tot een grotere belasting van het elektriciteitsnet, maar kan vanuit andere invalshoeken, zoals duurzaamheid, efficiëntie over het jaar

of kostenvoordelen door bronoptimalisatie, alsnog de voorkeursoptie zijn. Het is daarom belangrijk om deze afweging expliciet mee te nemen in de systeemkeuze en hierover te communiceren met de netbeheerder.

Maak een integrale afweging bij de keuze voor warmte-technieken

Maak bij de keuze voor warmtetechnieken een integrale afweging waarin niet alleen de impact op het elektriciteitsnet wordt meegenomen, maar ook kosten, technische haalbaarheid en bredere maatschappelijke effecten. Verduurzaming van het verwarmingssysteem zorgt vrijwel altijd voor een toename in elektriciteitsverbruik. De lokale keuze tussen deze opties zou daarom niet primair gebaseerd moeten zijn op welk systeem meer of minder elektrisch vermogen vraagt, maar op wat het meest logisch en passend is voor de betreffende gebouwen en context. Een keuze voor de techniek met de laagste netimpact voorkomt bovendien niet altijd de noodzaak tot netverzwaring.

Discussie (1/3)

Gebruikte kengetallen gelijktijdige piekvermogens individuele warmtepompen

We baseren de piekvermogens van bodem, lucht en hybride warmtepompen op de aan ons beschikbaar gestelde kengetallen die door netbeheerder Liander zijn gebruikt. Er bestaat discussie over de aannames waarop deze kengetallen zijn gebaseerd. In Nederland hebben we nog beperkt ervaring met het gebruik van warmtepompen in bestaande bouw en er zijn helaas nog maar weinig voor netbeheerders geschikte praktijkdata beschikbaar. Specifiek is onbekend wat de impact van warmtepompen gaat zijn tijdens langere periodes van zeer lage temperaturen. De getallen voor individuele warmtepompen kennen daarmee een mate van onzekerheid (net als die van geothermie). We hebben in deze studie geprobeerd de uitgangspunten in iedere vergelijking die we maken zoveel mogelijk gelijk te trekken.

Formatiegas/geogas

Als versimpeling hebben we in deze studiemodellering niet de winning van formatiegas (ook wel geogas) meegenomen.

Formatiegas is net als aardgas een mengsel van methaan, CO₂ en stikstof. Formatiegas wordt vaak, maar niet altijd gewonnen uit de productie van aardwarmte. De hoeveelheid varieert.

Een geothermieproducent kan verschillende dingen met het formatiegas doen, zoals terug-injecteren in de aardbodem, reinigen tot aardgaskwaliteit en vervolgens zelf gebruiken of verkopen. In het Westland wordt bijvoorbeeld relatief veel formatiegas gewonnen en bijvoorbeeld gebruikt in een wkk. Hiermee wordt een deel van de elektriciteit- en warmtevoorziening van het warmtenet geregeld. Ook wordt een deel teruggeleverd aan het landelijke net.

Formatiegaswinning en -toepassing heeft invloed op de energetische prestaties van het net (evt. hogere SCOP door gebruik wkk), de financiële aantrekkelijkheid (lagere inkoopkosten, energieverkoop) en de duurzaamheid ervan (hoe meer verbruik van formatiegas, hoe meer fossiele emissies vrijkomen).

Discussie (2/3)

Definities MT-net en HT-net

Een hogetemperatuurwarmtenet (HT-net) is een collectief warmtenet met een leveringstemperatuur hoger dan 75 °C, typisch 90 °C. Een middentemperatuurwarmtenet (MT-net) heeft een leveringstemperatuur tussen 55 en 75 °C. Zowel een MT-net als HT-net levert warmte aan gebouwen voor ruimteverwarming en warm tapwater.

Maximale nettemperatuur. Om in de winter genoeg warmte door de warmteleidingen van de bron naar de aansluiting te transporteren zijn hogere temperaturen nodig. Hoe kouder het buiten is, hoe warmer de brontemperatuur die nodig is om de gevraagde warmte tegen de leveringstemperatuur af te leveren. Hoe warm het precies moet zijn, hangt erg af van het specifieke ontwerp van het warmtenet. In deze studie hanteren we daarom een range voor MT-netten van 70 tot 100 °C. Voor HT-netten (bestaande netten), variëren we tussen 110 en 130 °C.

Hoogte van de warmtevraag per WEQ

In de voorbeeldwijk is de warmtevraag per WEQ circa 1.553 Nm³ (gasverbruik) per jaar in het jaar 2013. Volgens CBS lag het gemiddelde gasverbruik in de periode 2019-2023 op 1.068 Nm³, wat aanzienlijk lager is. In deze periode waren de winters echter mild en de gasprijzen hoog. In 2013 lag het gemiddelde gasverbruik nog 1.600 Nm³. In de meeste jaren zal er daarom minder gas voor piekvraag in het warmtenet verbruikt worden dan dat we berekenen.

Aquathermie in de hoofdvergelijking

Aquathermie (TEA) komt in de vergelijking van het basisscenario als optie met de laagste duurzaamheidsscore en als collectieve optie met de hoogste elektrische vermogensvraag uit de vergelijking. TEA kan wel een duurzame, efficiënte en betaalbare techniek zijn om gebouwen mee te verwarmen. Bijv. bij lagere nettemperaturen of als bron in een LT- of ZLT-net. Inzet van TEA voor MT- (en HT-)netten, waar we in deze studie naar kijken, is vanuit netgebruik beschouwd vooral een optie bij gebrek aan duurzame collectieve alternatieven.

Discussie (3/3)

Piekvraag en -voorziening

In deze studie modelleren we in detail de inzet van een geothermiedoublet voor een warmtenet, welke vooral voor de basislast en eventueel middenlast ingezet kan worden.

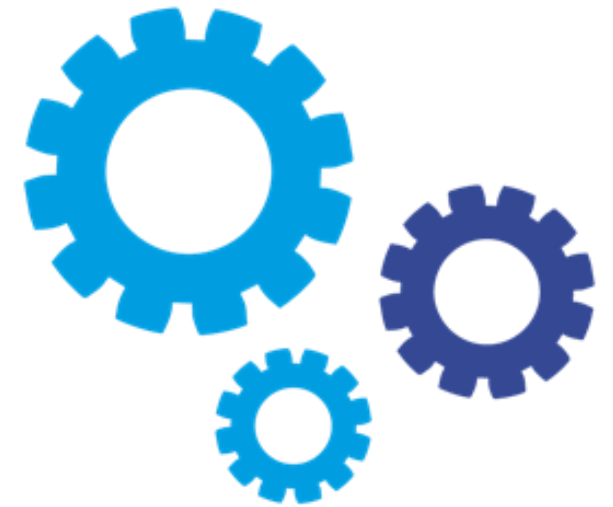
De piekvraag in een warmtenet moet ook worden ingevuld, maar waarschijnlijk niet met geothermie. Momenteel worden hulpwarmteketels (aardgas) ingezet, ook bij nieuwe netten wordt hier meestal in geïnvesteerd. Dat betekent op de korte termijn dat er nog fossiele uitstoot is in de vorm van aardgas, op de lange termijn zijn de consequenties nog onduidelijk. Er zal waarschijnlijk een deel duurzaam, klimaatneutraal gas gebruikt gaan worden, zoals groengas of waterstof. Ook is er waarschijnlijk veel reductie te behalen uit vraagsturing. In een 2023 studie naar [de baten van vraagsturing in warmtenetten](#) concludeerde Saxion en TNO voor WarmingUp dat de piekvraag met 1 uur vraagsturing met 20% omlaag kan worden gebracht. [Power-to-Heat & warmteopslag](#) (studie CE Delft, 2023) zou verder kunnen worden ingezet voor het verduurzamen van warmtenetten. Dat betekent dat het op termijn ook mogelijk is

dat er meer elektriciteit vragende installaties in een warmtenet op geothermie terechtkomen. Deze ontwikkeling hebben we in de afbakening van deze studie buiten beschouwing gelaten.

Boorinstallatie

Het elektrisch vermogen wat tijdelijk nodig is om de geothermiedoubletten te boren is aanzienlijk. In de projecten die we ontvangen hebben ligt dit in de buurt van het vermogen wat nodig is voor de operationele fase voor de productie- en injectiepomp en warmtepomp. Omdat dit vermogen slechts enkele maanden nodig is, zijn tijdelijke niet-duurzame oplossingen zoals dieselgeneratoren of gas-wkk's bij gebrek aan alternatieven voorstelbaar om in het vermogen te voorzien. Voor de operationele fase/lange termijn is die situatie echter onwenselijk.

| A. Bijlagen



Warmtevraagprofielen Rijswijk en Almere

Instellingen Warmteprofielengenerator

Basisscenario: Rijswijk

- Klimaatjaar: De Bilt 2013
- Beschouw alle niet-woningen als woning
- Wijk 02 Rijswijk bestaat uit vijf gebieden in de Warmteprofielengenerator :
 - Oud-Rijswijk
 - Welgelegen
 - Rembrandtkwartier
 - Bomenbuurt
 - Havenkwartier

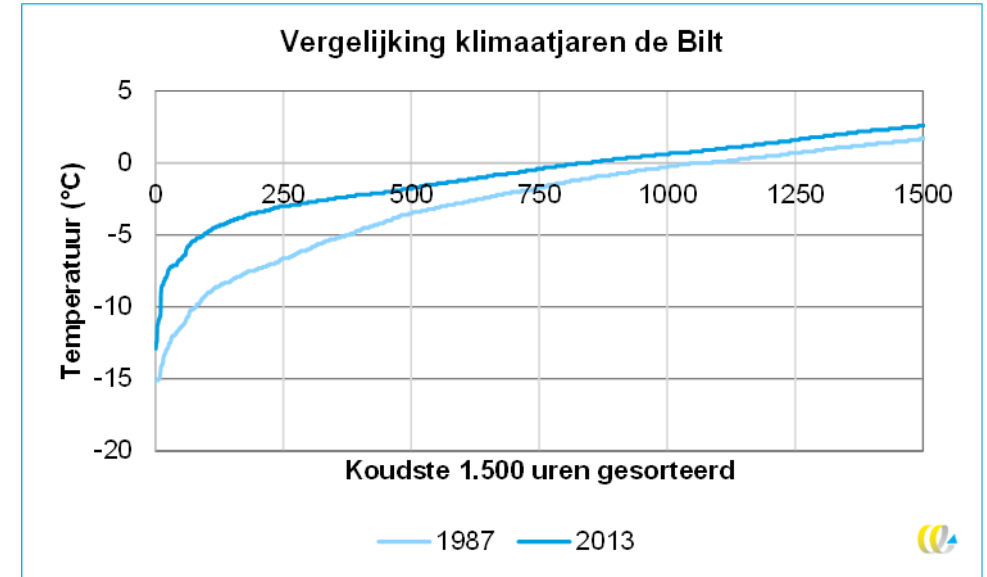
Gevoeligheidsanalyse betere Isolatie: Almere

- Klimaatjaar: De Bilt 2013
- Beschouw alle niet-woningen als woning
- Almere Kruidenwijk bestaat uit één gebied in de Warmteprofielengenerator:
 - Kruidenwijk



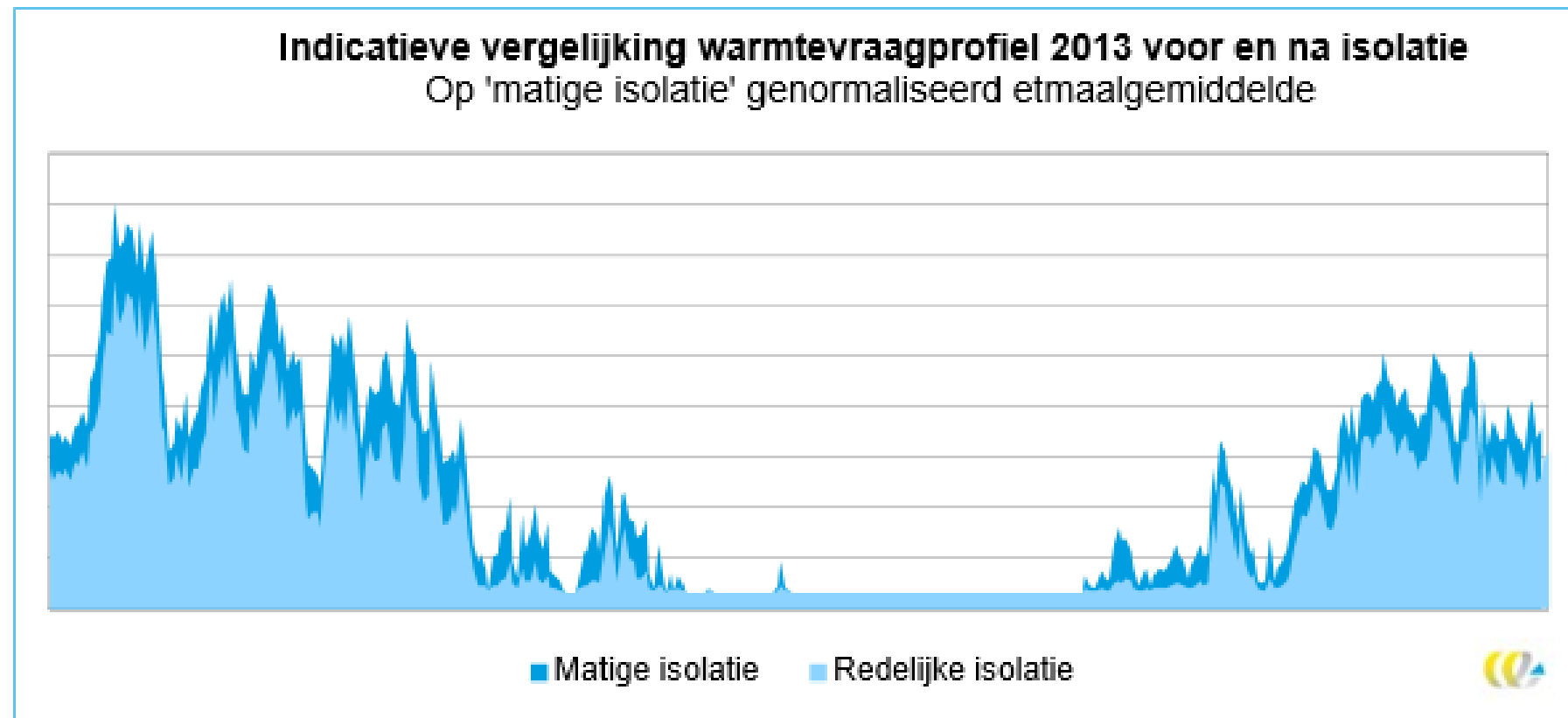
Weerjaar 2013

- We hebben in dit onderzoek met weerjaar 2013 gerekend, het koudste weerjaar wat beschikbaar was in de Warmteprofielengenerator. Netbeheerders rekenen echter met koudere weerjaren, zoals 1987 (Stedin).
- Het doel van dit onderzoek is onderlinge vergelijking van systemen, tussen de warmtenetvarianten maakt de weerjaark keuze relatief weinig uit, omdat de piekvoorziening met gas wordt voorzien. In de vergelijking met all-electric-oplossingen maakt het weerjaar wel uit.
- Een vergelijking tussen 2013 (gebruikt) en 1987 (Stedin):
 - Jaargemiddeld is 1987 1 °C kouder dan 2013
 - 5-percentiel: 2,1 °C kouder in 1987
 - Dagen onder vriespunt: 822 in 2013, 1.043 in 1987
- Zeker periodes van aanhoudende kou zoals in 1987 zullen effect hebben op het elektriciteitsverbruik van individuele warmtepompen.



Effect isolatie op warmtevraagprofiel

De volgende figuur geeft een indicatieve vergelijking van het warmtevraagprofiel van de twee wijken die geanalyseerd zijn. Het profiel van de wijk met matige isolatie heeft hogere pieken en een hogere totale warmtevraag dan de wijk met redelijke isolatie.

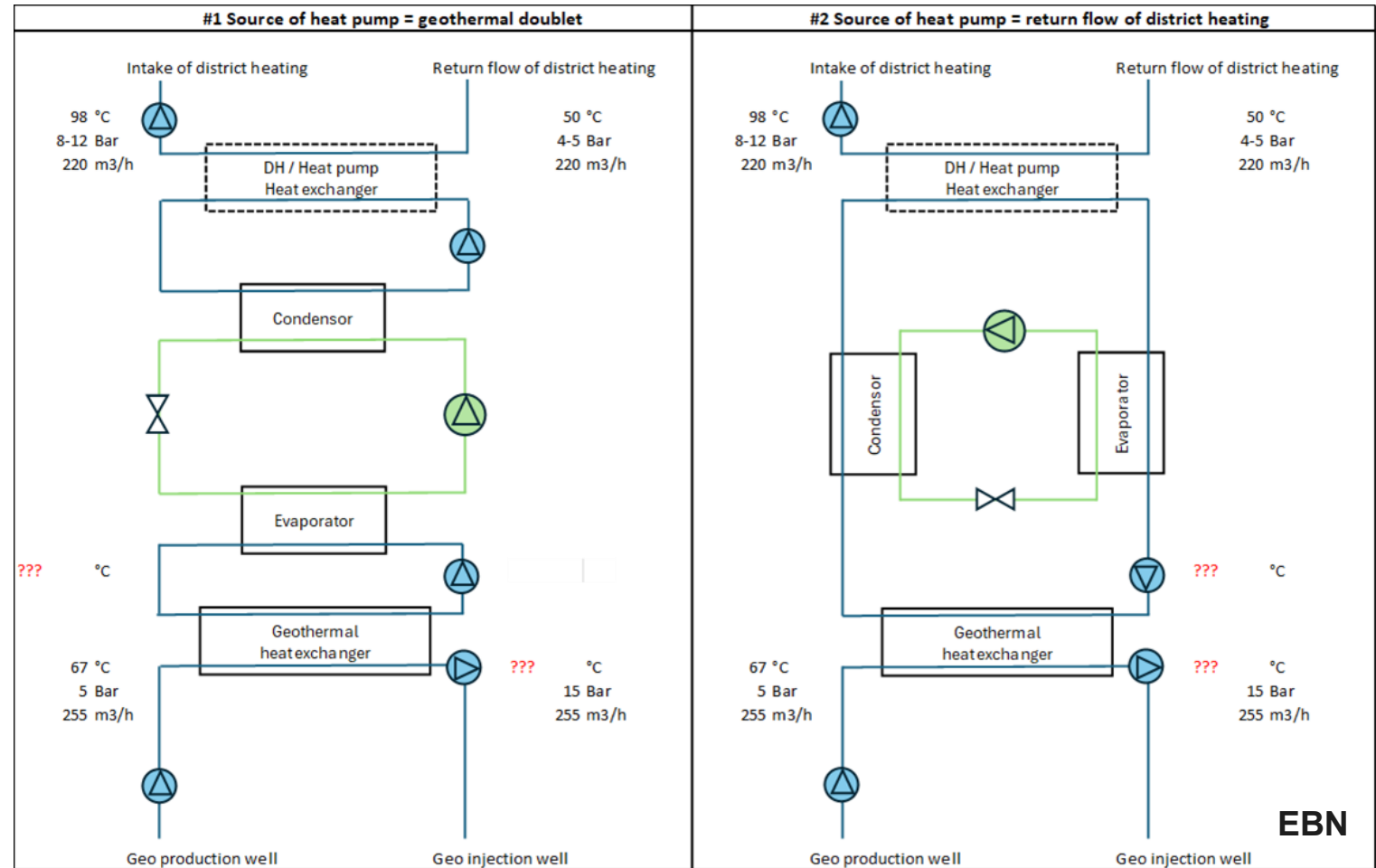


Kengetallen gebruikt in modellering

Beschrijving	Waarde	Eenheid
Energie-inhoud gas (onderwaarde)	31,65	MJ/Nm ³
Emissiefactor aardgas 2024	1,779	kgCO ₂ /Nm ³
Emissiefactor elektriciteit 2024	0,19	kgCO ₂ /kWh
Omgevingstemperatuur	12	°C
Diepte geothermieput (aangepast op projectbasis in de validatieberekeningen)	2.500	meter
ESP efficiëntie	70	%
Injectietemperatuur	35	°C
Injectiedruk	20	bar
Diepte HTO	300	meter
Leidinglengte distributienet tot afgifteset	20	meter per WEQ
Warmteverlies coëfficiënt warmteleiding	0,15	W/m/K
Energievraag circulatiepomp	0,0072	kWhe/kWhth
Thermisch rendement gasketel (onderwaarde)	99	%

Schema modellering

- Wij hebben Variant 1 gemodelleerd:
 - De geothermieput uitkoelen naar een vaste injectietemperatuur
- Variant 2 (niet gemodelleerd):
 - Retourstroom terugkoelen naar een temperatuur
 - Retourstroom daarna opwaarderen met een warmtewisselaar op de geothermieput



Instellingen basisscenario en gevoeligheidsanalyses

Hoofddoorrekening

Basisscenario

- Warmtevraag en profiel op basis van Wijk 02 Rijswijk, 2013
- Productietemperatuur: 75°C
- Maximale nettemperatuur: 85°C
- Dimensionering geothermiebron: 40% van vermogensvraag (resulteert in 85% dekking volumevraag, in combinatie met HT-ATES 97% dekking). Het aantal vollasturen van de geothermiebron ligt tussen de 4.300 en 4.700.
- Dimensionering HT-ATES: initieel 60% van vermogen geothermiebron
- Geothermiediepte: 2 km

Gevoeligheidsanalyses

Gebouwde omgeving

Gevoeligheidsanalyse 1

Verschillende put- en nettemperaturen in een nieuw MT-net

- Puttemperatuur 60 tot 90°C
- Maximale nettemperatuur 75 tot 100°C

Gevoeligheidsanalyse 2

Verschillende nettemperaturen in een bestaand HT-warmtenet

- Maximale nettemperatuur 110 tot 130°C

Gevoeligheidsanalyse 3

Betere isolatie gebouwvoorraad

- Gebaseerd op warmteprofiel Almere Kruidenwijk (bouwperiode jaren 90)
- Isolatie resulteert in 25% lagere warmtevraag per WEQ, 5% lagere piekvraag.

Gevoeligheidsanalyse 4

Andere dimensionering bron in net

- Dimensionering geothermie bron 30 of 50%

Glastuinbouw

Glastuinbouw gunstig:

Geen opwaardering nodig

- Puttemperatuur en maximale nettemperatuur gelijk: 85°C
- Uitkoeling tot 35°C
- Ander vraagprofiel dan GO

Glastuinbouw ongunstig: Opwaardering nodig

- Puttemperatuur laag 65°C
- Maximale nettemperatuur: 85°C
- Uitkoeling tot 35°C
- Ander vraagprofiel dan GO

Validatie methode en uitkomsten a.d.h.v. projectdata

We valideren onze modeluitkomsten aan de hand van projectgegevens die ons beschikbaar zijn gesteld voor dit onderzoek. De getallen zijn vertrouwelijk gedeeld waardoor we de projectgegevens zo veel mogelijk generiek hebben weergegeven. Alle getallen zijn exclusief circulatie/transportpompenergie. Overkoepelend zien we dat onze modellering in elk van de casussen de vermogensvraag *lager* inschat dan wat er in de praktijk wordt aangevraagd (range afwijking: -5 tot -13%).

We zien hiervoor twee verklaringen. Ten eerste hanteren projectontwikkelaars mogelijk een marge in het bepalen van de vermogensbehoefte, ook omdat er vaak andere, kleinere loads zoals regeltechniek worden aangesloten op de aansluiting. Dit is in ieder geval bij één van de casussen de verklaring.

De tweede verklaring zien we in het detailniveau van technische informatie waarover wij beschikken per casus. Zaken zoals de boordiepte en de verwachte aanvoer en retourtemperaturen van het net waren niet of beperkt beschikbaar, maar hebben wel invloed op de vermogensbehoefte.

Casus		Waarde	Eenheid	Resultaat modellering
1	Verhouding thermisch en aangevraagd elektrisch vermogen	17,7	MW _{th} /MW _e	18,6 MW _{th} /Mw _e (5% lagere elektrische vermogensvraag ingeschat)
	Aardwarmte- en nettemperatuur	85	°C	
	Warmtepomp	Nee	-	
2	Verhouding thermisch en aangevraagd elektrisch vermogen	3,3	MW _{th} /MW _e	3,8 MW _{th} /Mw _e (13% lagere elektrische vermogensvraag ingeschat)
	Aardwarmte- en nettemperatuur	95-120	°C	
	Warmtepomp	Ja	-	
3	Verhouding thermisch en aangevraagd elektrisch vermogen	2,9	MW _{th} /MW _e	3,2 MW _{th} /Mw _e (9% lagere elektrische vermogensvraag ingeschat)
	Aardwarmte- en nettemperatuur	65-90	°C	
	Warmtepomp	Ja	-	
4	Verhouding thermisch en aangevraagd elektrisch vermogen	3,1	MW _{th} /MW _e	3,3 MW _{th} /Mw _e (6% lagere elektrische vermogensvraag ingeschat)
	Aardwarmte- en nettemperatuur	70-95	°C	
	Warmtepomp	Ja	-	

Colofon

Delft, CE Delft, oktober 2025

Deze publicatie is geschreven door:
Marianne Teng, Koen van Dam en Florian Hesselink

Publicatienummer: 25.250290.206

Opdrachtgever: EBN

Alle openbare CE-publicaties zijn verkrijgbaar via www.ce.nl

© copyright, CE Delft, Delft

CE Delft

Committed to the Environment

CE Delft draagt met onafhankelijk onderzoek en advies bij aan een duurzame samenleving. Wij zijn toon-aangevend op het gebied van energie, transport en grondstoffen. Met onze kennis van techniek, beleid en economie helpen we overheden, NGO's en bedrijven structurele veranderingen te realiseren. Al sinds 1978 werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.

