

› WHITEPAPER

# DUURZAAMHEID VAN GEOTHERMIE IN WARMTENETTEN

December 2020

**TNO** innovation  
for life

› **TNO-auteurs:**

Hester Dijkstra  
Dorien Dinkelman  
Maurice Hanegraaf  
Hans Veldkamp  
Jan-Diederik van Wees

› **Met bijdragen van:**

Roald Arkesteijn (Eneco), Richard Braal (TNO),  
Martijn Clarijs (TNO), Herman Exalto (EBN),  
Annelies Huygen (TNO), Arie Kalkman (TNO),  
Coen Meijers (DMT), Jah Willem Rosingh  
(namens HAL), Paul Wyers (TNO), Wart van  
Zonneveld (Floricultura)

# › INHOUD

<b>1. Inleiding</b>	<b>5</b>
<b>2. CO<sub>2</sub>-emissieberekeningen</b>	<b>7</b>
CO <sub>2</sub> -emissie geothermiebron	8
CO <sub>2</sub> -emissie van een geothermiebron in een warmtenetwerk in stedelijk gebied	12
Optimaal warmtenetwerk scenario's: 2020, 2030, 20XX	14
Casus Zwolle	19
<b>3. Naar een CO<sub>2</sub>-neutraal collectief warmtenetwerk</b>	<b>22</b>
Verduurzaming geothermiebron	23
Verduurzaming van een warmtenet met geothermiebron	27
<b>4. Conclusies</b>	<b>32</b>
<b>Dankwoord</b>	<b>34</b>
<b>Referenties</b>	<b>35</b>



## › SAMENVATTING

Geothermie heeft de potentie om een belangrijke bron van duurzame energie te worden voor het collectief verwarmen van gebouwen. Maar hoe duurzaam is een warmtenet met geothermiebron? Deze vraag is zeer actueel geworden nu de overheid versneld afscheid wil nemen van aardgas, en het aandeel duurzame warmte sterk wil laten toenemen. Om deze vraag te beantwoorden is de CO<sub>2</sub>-emissie van een geothermiebron en van een warmtenet met geothermiebron berekend.

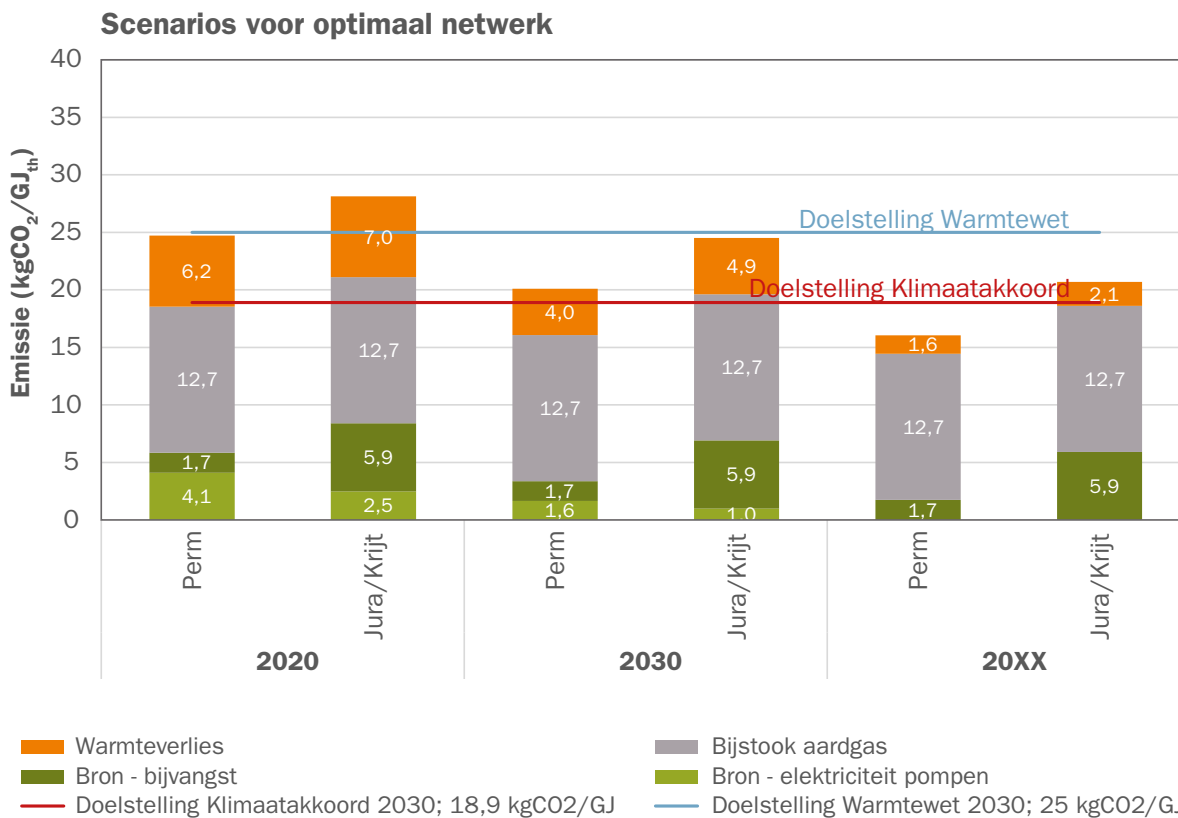
In vergelijking met een CV-ketel op aardgas is de CO<sub>2</sub>-uitstoot van een geothermiebron zo'n 90% lager. De totale CO<sub>2</sub>-emissie van een geothermiebron is 4,3-8,6 kg CO<sub>2</sub>/GJ (afhankelijk van het reservoir waaruit wordt geproduceerd). De bijvangst (formatiegas) is verantwoordelijk voor 2,2-7,4 kg CO<sub>2</sub>/GJ warmte. Daarmee is geothermie één van de meest duurzame warmtebronnen.

Een op zichzelf staande geothermiebron kan echter niet direct een CV-ketel vervangen. Daarom is ook de CO<sub>2</sub>-uitstoot van een geothermiebron in combinatie met een warmtenet geanalyseerd. In de berekening zijn de eigenschappen van een warmtenet, zoals de bijstook (pieklust) en het warmteverlies, meegenomen. Om een reductie van de CO<sub>2</sub>-emissie van 70% te realiseren, zoals afgesproken in het Klimaatakkoord, moet de gemiddelde uitstoot van warmtenetten in de gebouwde omgeving in 2030 onder de grens van 18,9 kg CO<sub>2</sub>/GJ komen. De onderstaande figuur laat zien dat op systeemniveau niet zonder meer wordt voldaan aan deze eis. De normstelling in het voorstel Warmtewet van 25 kg CO<sub>2</sub>/GJ in 2030 wordt in de rekenvoorbeelden wel behaald. De belangrijkste bronnen van CO<sub>2</sub>-emissies in een warmtenet met geothermiebron zijn de pieklust, ingevuld door het verbranden van aardgas, en de warmteverliezen in een warmtenet. De laatste stoot geen CO<sub>2</sub> uit maar vermeerdert de CO<sub>2</sub>-emissie van de rest van het systeem. In de berekende casussen zijn deze twee factoren verantwoordelijk voor 70 tot 83% van de totale CO<sub>2</sub>-emissie van het systeem.

Er zijn voldoende opties om warmtenetten en geothermiebronnen te verduurzamen. Een belangrijke randvoorwaarde is dat de vergroening van de elektriciteitsmix wordt gerealiseerd. De belangrijkste verduurzamingsopties zijn:

- Het verduurzamen van de bijstook (pieklust) met groene alternatieven voor aardgas
- Het minimaliseren van warmteverliezen in het warmtenet
- Het mitigeren van de bijvangst (herinjectie, CO<sub>2</sub> afvangen, leveren aan gasnetwerk).

Geothermie is nu al een duurzame warmtebron met een lage CO<sub>2</sub>-emissie. Met behulp van de hierboven beschreven maatregelen voor zowel de bron als het warmtenet is het mogelijk om de uitstoot verder te verlagen, en zo uiteindelijk een CO<sub>2</sub>-neutraal warmtesysteem te realiseren.

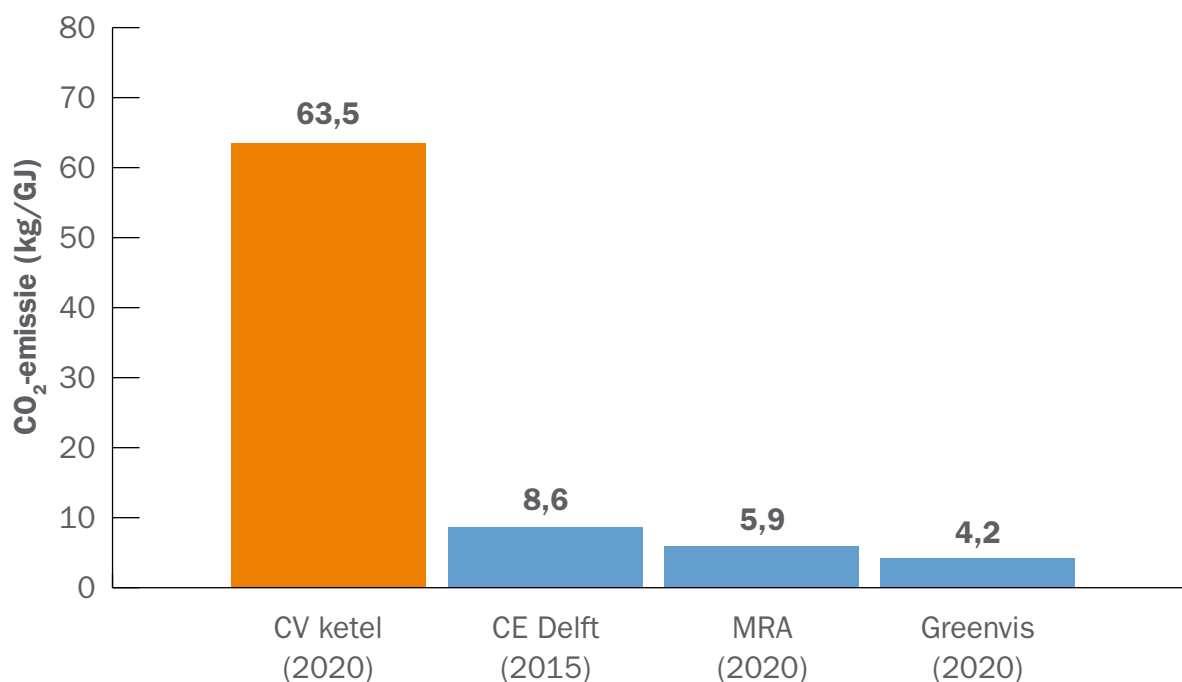


## 1. INLEIDING

Geothermie heeft de potentie een belangrijke bron van duurzame energie te worden voor het collectief verwarmen van gebouwen en het verduurzamen van de warmtevraag in de industrie. Eén geothermische installatie kan duurzame warmte leveren aan duizenden huishoudens. Maar hoe duurzaam is een warmtenet waarin geothermie wordt gebruikt als basislast nu eigenlijk? Die vraag is zeer actueel geworden nu de overheid versneld van het aardgas af wil en het aandeel duurzame warmte sterk wil laten toenemen. Daarom wordt in deze studie gekeken naar de CO<sub>2</sub>-emissie van een geothermiebron, en de CO<sub>2</sub>-emissie van een geothermiebron in een warmtenetwerk.

In 2019 werd bijna de helft van het finaal energieverbruik gebruikt voor verwarmen; 24% voor verwarming van huizen en 22% voor proceswarmte in de industrie (457 petajoule, 417 petajoule respectievelijk)<sup>1</sup>. Deze getallen tonen aan dat er een grote uitdaging voor de energietransitie ligt bij het verduurzamen van de warmtevraag. Als het gaat om warmte in de gebouwde omgeving moet de CO<sub>2</sub>-emissie van warmte geleverd door stadswarmtenetten in Nederland met 70% dalen ten opzichte van warmte uit een CV-ketel op aardgas, om aan de eisen van het Klimaatakkoord voor 2030 te voldoen<sup>2</sup>. Deze 70% reductie betreft het gemiddelde over alle warmtenetten. Dit betekent dat de CO<sub>2</sub>-uitstoot van warmtenetten wordt verlaagd naar gemiddeld 18,9 kilogram koolstofdioxide per gigajoule (kg CO<sub>2</sub>/GJ) (t.o.v. een CV-ketel met een uitstoot van 63,5 kg CO<sub>2</sub>/GJ). Om verduurzaming te stimuleren wordt in het voorstel van de Wet collectieve warmtevoorziening de doelstelling opgenomen om de toegestane CO<sub>2</sub>-uitstoot van geleverde warmte per systeem geleidelijk terug te brengen van 40 kg CO<sub>2</sub> per gigajoule geleverde warmte in 2022, tot 25 kg CO<sub>2</sub>/GJ in 2030<sup>3</sup>. Deze laatste waarde ligt boven de 18,9 kg CO<sub>2</sub>/GJ die als gemiddelde moet worden genomen voor de hele sector in 2030.

Eerdere studies zoals de warmteladder voor de metropoolregio Amsterdam (MRA)<sup>4</sup>, uitgevoerd door ECN/TNO in 2018, een studie van CE Delft in 2016<sup>5</sup> en de meest recente studie van Greenvis<sup>6</sup> in 2020 lieten zien dat de CO<sub>2</sub>-uitstoot van een geothermiebron al 90% lager is dan die van een ketel op aardgas (Figuur 1). Wanneer geothermie echter wordt geïntegreerd in een warmtenet, worden de berekende CO<sub>2</sub>-emissies minder gunstig. MRA<sup>4</sup> en CE Delft<sup>5</sup> becijferen voor een hypothetisch warmtenet met geothermie een systeememissie van respectievelijk 20 kg CO<sub>2</sub>/GJ en 25,1 kg CO<sub>2</sub>/GJ. De studie van Greenvis<sup>6</sup> heeft deze systeememissies berekend op 14,3 kg CO<sub>2</sub>/GJ in 2019 en 8,6 kg CO<sub>2</sub>/GJ in 2030. Deze additionele emissies hangen nauw samen met de bijstook met fossiele brandstoffen, het warmtevraagprofiel en warmteverliezen in het warmtenetwerk.



FIGUUR 1 – CO<sub>2</sub>-EMISSION VAN CV-KETEL EN GEOTHERMIEBRON (BEREKEND IN STUDIES CE DELFT, MRA EN GREENVIS)

De analyses van MRA<sup>4</sup> en CE Delft<sup>5</sup> suggereren dat een warmtenet met geothermiebron ondanks de lage bronemissies onvoldoende duurzaam is (boven de beoogde 18,9 kg CO<sub>2</sub>/GJ). Ook zijn enkele factoren buiten beschouwing gelaten die van grote invloed zijn op de berekende uitstoot:

- *Bijvangst van formatiegas*: Het gas dat vrijkomt bij de productie van geothermisch water is voor het grootste deel methaan (CH<sub>4</sub>). Dit gas is in de ondergrond opgelost in het water vanwege de hoge druk die daar heerst. Wanneer het water omhoog wordt gepompt, komt het gas door drukverlaging vrij. Bij de huidige geothermieprojecten wordt dit gas in een ketel verbrand en omgezet in warmte. Geen van de berekeningen van de CO<sub>2</sub>-emissies in de eerdere studies<sup>4,5,6</sup> heeft rekening gehouden met de bijvangst.
- *Toekomstige elektriciteitsmix*: De bron- en systeememissies zijn gebaseerd op een verouderde CO<sub>2</sub>-emissiefactor van de elektriciteitsmix<sup>1</sup>. Over de jaren zal de elektriciteitsmix verder verduurzamen<sup>1</sup>. Hierdoor gaat de CO<sub>2</sub>-emissiefactor omlaag en wordt de CO<sub>2</sub>-emissie, gerelateerd aan het elektriciteitsverbruik van het warmtenetwerk en de geothermiebron, dus ook steeds minder. De analyses van MRA<sup>4</sup> en CE Delft<sup>5</sup> hebben geen rekening gehouden met de afwijkende toekomstige elektriciteitsmix. Deze komt echter wel terug in de studie van Greenvis<sup>6</sup>.

Bovengenoemde punten onderstrepen het belang van een vernieuwde analyse van de duurzaamheid van geothermie in warmtenetten om zo een correcte weergave te geven van de werkelijke emissies. Deze studie geeft eerst een bijgestelde analyse van de bronemissie van geothermie. Vervolgens wordt voor een aantal scenario's berekend hoe hoog de emissies van een warmtenet met geothermiebron zijn. Tot slot wordt een doorkijk gegeven naar de benodigde acties om een CO<sub>2</sub>-neutraal collectief warmtenet met geothermiebron te realiseren.

# 2. CO<sub>2</sub>-EMISSIE- BEREKENINGEN



## › 2. CO<sub>2</sub>-EMISSIEBEREKENINGEN

In de recent gewijzigde Warmtewet is voor alle leveranciers van warmte die over een vergunning beschikken de rapportageverplichting opgenomen om de duurzaamheid van de geleverde warmte en koude te rapporteren. Doel hiervan is de inzichtelijkheid in de duurzaamheidsprestatie van warmte- en koudnetten te vergroten. RVO heeft in opdracht van het ministerie van Economische Zaken en Klimaat een uniforme rekenmethodiek ontwikkeld waarmee de duurzaamheid van warmtenetten in stedelijk gebied en van bronnen berekend kan worden, hieronder valt ook geothermie<sup>7</sup>. Om de CO<sub>2</sub>-emissie van een geothermiebron in een warmtenet te bepalen is er een publiek beschikbare rekentool ontwikkeld<sup>8</sup>. De gedetailleerde methodiek voor het berekenen van de CO<sub>2</sub>-emissies is beschreven in een technische notitie<sup>9</sup>.

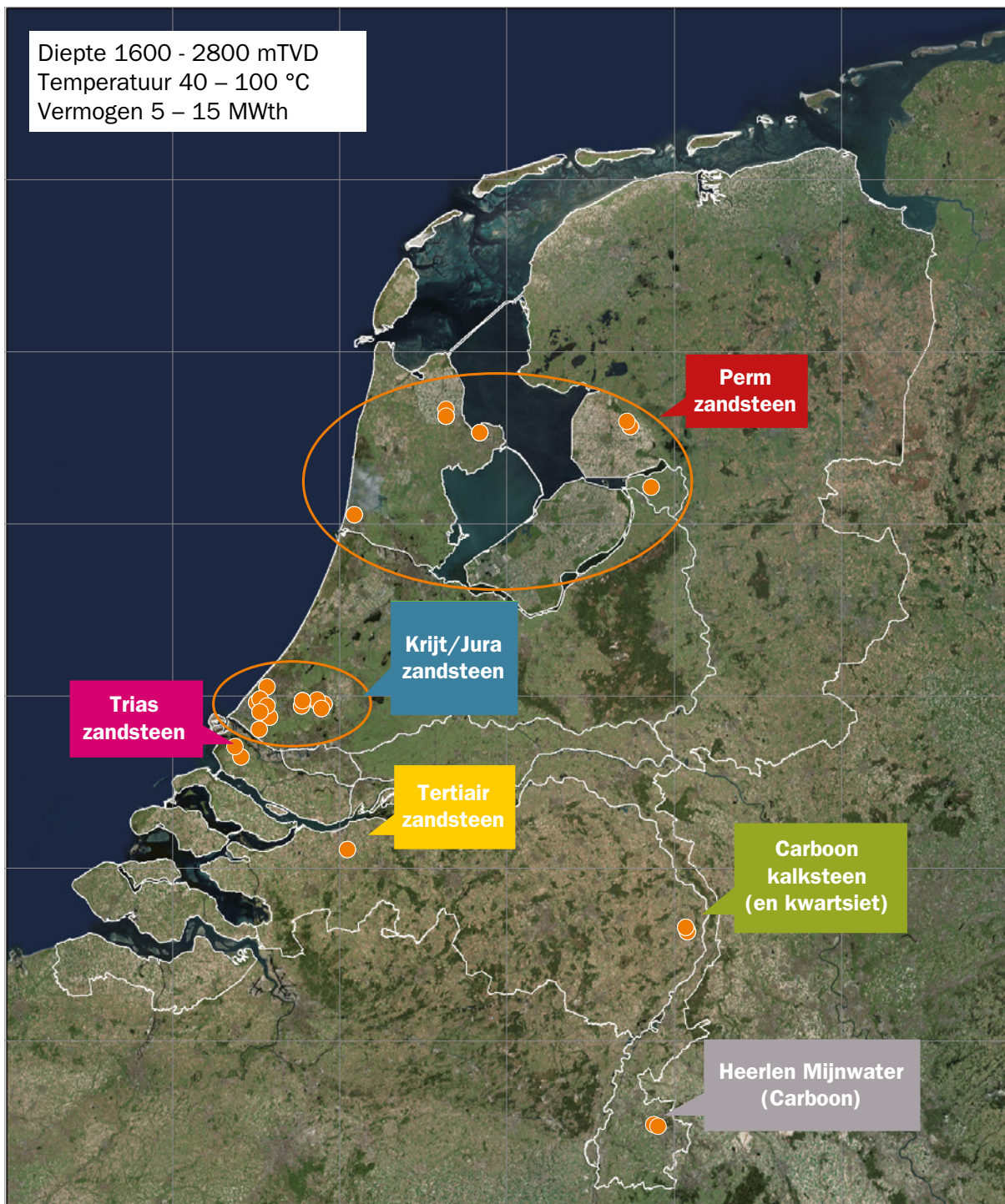
### CO<sub>2</sub>-EMISSIE GEOTHERMIEBRON

De totale operationele CO<sub>2</sub>-uitstoot van een geothermiebron bestaat uit de uitstoot gerelateerd aan de door de pompen gebruikte elektriciteit en de uitstoot door het verbranden van het formatiegas, de zogeheten bijvangst. De CO<sub>2</sub>-emissie van de bijvangst is in eerdere studies buiten beschouwing gelaten.

#### CO<sub>2</sub>-emissie bijvangst

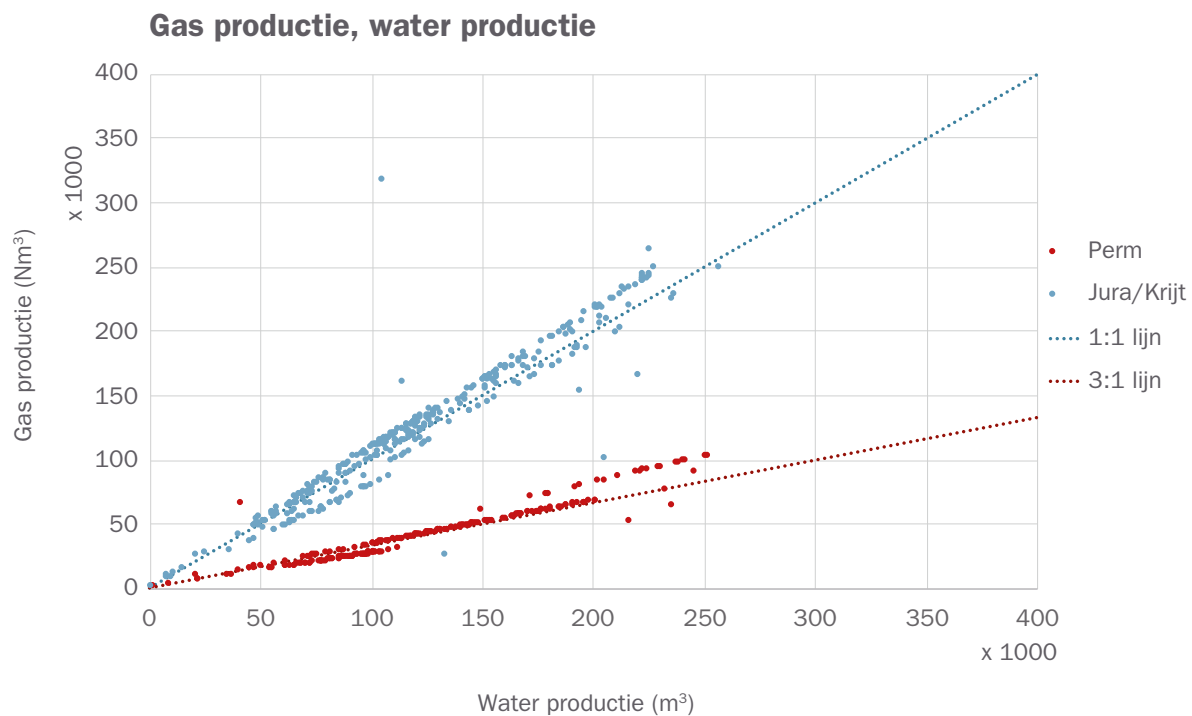
De hoeveelheid bijvangst van een geothermiedoublet is sterk afhankelijk van het type reservoir waaruit geproduceerd wordt. De berekening van de CO<sub>2</sub>-emissie van geothermie is daarom uitgevoerd voor de typen reservoirs waaruit de meeste doubletten hun warmte produceren. Dat zijn de reservoirs uit het Perm (252 tot 299 miljoen jaar geleden), en uit het Boven Jura/Onder Krijt (100 tot 163 miljoen jaar geleden) (Figuur 2). De reservoirs uit het Perm-ouderdom zullen met name warmte kunnen leveren in Midden- en Noord-Nederland, in steden zoals Amsterdam, Haarlem, Utrecht, Alkmaar en Zwolle. De reservoirs uit het Jura/Krijt hebben hogere potentie in de Randstad in steden als Den Haag, Rotterdam en Delft. De huidige doubletten die uit gesteenten van Carboon- en Tertiair-ouderdom produceren, hebben geen bijvangst.





FIGUUR 2 - OVERZICHT VAN GEOTHERMIEDOUBLETTEN IN NEDERLAND, MET DE OUDERDOM VAN DE LAAG WAARUIT ZE PRODUCEREN. BRON: NAAR DATA NLOG.NL.

De bijvangst van  $\text{CH}_4$  (methaan) uit productiewater afkomstig uit gesteenten van Perm-ouderdom verschilt sterk van die uit de periodes Jura/Krijt. Uit de beschikbare productiedata volgt een lineair verband tussen hoeveelheid geproduceerd gas per hoeveelheid geproduceerd water. Het productiewater van doubletten die produceren uit de reservoirs van die laatste periodes (Jura/Krijt) bevat voor elke kubieke meter water ongeveer één normaal kubieke meter gas ( $\text{Nm}^3$ ) geproduceerd. Voor de reservoirs uit het Perm is dit een kleinere hoeveelheid van ongeveer 0,3 normaal kubieke meter gas per kubieke meter water (Figuur 3). Dit verschil heeft een significante invloed op de hoeveelheid  $\text{CO}_2$  die een installatie uitstoot.



FIGUUR 3 - AARDGASPRODUCTIE PER RESERVOIR. DE PUNTEN GEVEN VOOR DE DOUBLETEN DE HOEVEELHEID GEPRODUCEERD GAS TEN OPZICHTE VAN DE HOEVEELHEID OMHOOG GEBRACHT WATER PER MAAND AAN. BRON: CONFIDENTIËLE DATA GEOLOGISCHE DIENST NEDERLAND<sup>10</sup>. DE DATA IS GEAGGREGEERD EN WORDT IN HET FIGUUR GEANONIMISEERD WEERGEGEVEN.

De bijvangst van een geothermiebron is op twee manieren te berekenen. Wanneer de bijvangst wordt afgefakkeld moeten de CO<sub>2</sub>-emissies worden toegewezen aan de gewonnen aardwarmte en geldt de CO<sub>2</sub>-emissiefactor voor aardgas uit de brandstoffenlijst van RVO<sup>11</sup>. Indien de bijvangst wordt ingezet voor de productie van warmte in een ketel, worden de uitgangspunten en rekenregels voor een ketel als warmtebron gehanteerd. De bijvangst kan op verschillende manieren gebruikt worden (zie hoofdstuk 3). De bijvangst wordt in de praktijk zelden afgefakkeld<sup>12</sup>. In de berekeningen is daarom aangenomen dat de bijvangst wordt ingezet voor de productie van warmte in een ketel.

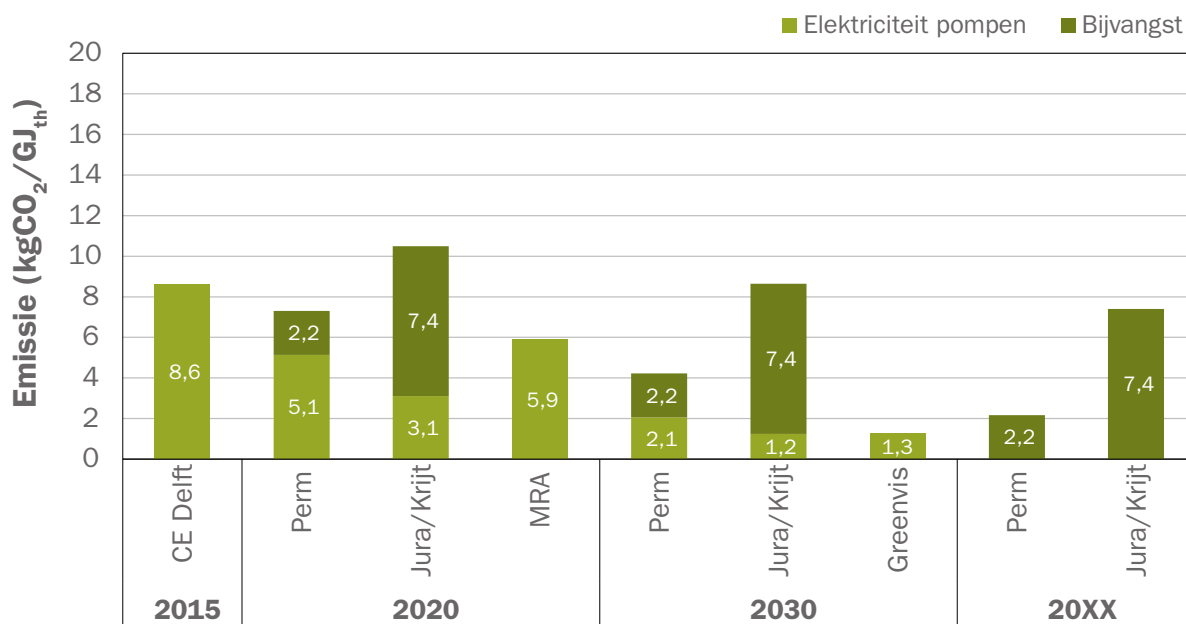
Voor de berekening van de CO<sub>2</sub>-emissie van de bijvangst is de landelijke CO<sub>2</sub>-emissiefactor van aardgas<sup>11</sup> gebruikt. Deze landelijke CO<sub>2</sub>-emissiefactor is het gemiddelde van de CO<sub>2</sub>-emissiefactoren van alle gasvelden in Nederland<sup>13</sup>. Dit zijn zowel velden met laagcalorisch (Gronings aardgas) als hoogcalorisch aardgas. De gassamenstelling (het percentage methaan, andere koolwaterstoffen, stikstof en CO<sub>2</sub>) van aardgas varieert per gasveld. Ook de samenstelling van het formatiegas van een geothermiebron varieert ten opzichte van laag- of hoogcalorisch aardgas. De CO<sub>2</sub>-emissiefactor van het formatiegas van geothermie kan hierdoor afwijken van de landelijke CO<sub>2</sub>-emissiefactor. Door deze variatie in gassamenstelling en de beperkte hoeveelheid beschikbare informatie over de gassamenstellingen van de bijvangst van geothermieputten, is in deze studie met de landelijke CO<sub>2</sub>-emissiefactor en verbrandingswaarde gerekend.

### CO<sub>2</sub>-emissie bronpompen

Een geothermisch doublet gebruikt pompen (ESP; Electric Submersible Pump) om het warme water te produceren uit het reservoir en vervolgens het koude water weer te injecteren. Deze pompen gebruiken elektriciteit. De hoeveelheid benodigde elektriciteit wordt uitgedrukt door de Coefficient of Performance (COP). Deze geeft de verhouding aan tussen de hoeveelheid geproduceerde geothermische energie en de benodigde pompenergie. Dit is dus een maatstaf voor de hoeveelheid elektriciteit die nodig is voor het produceren van warmte. Voor de huidige geothermiedoubletten (operationeel in de glastuinbouw) is de gemiddelde COP 16 voor reservoirs uit het Perm, en gemiddeld 24 voor de doubletten uit het Jura/Krijt<sup>10</sup>. Er is dus veel meer pompkracht (elektriciteit) nodig voor doubletten die produceren en injecteren uit formaties uit het Perm dan uit formaties uit het Jura/Krijt. De CO<sub>2</sub>-emissie als gevolg van de productie van de benodigde elektriciteit kan berekend worden de CO<sub>2</sub>-emissiefactor voor de Nederlandse elektriciteitsmix van het Planbureau voor de Leefomgeving<sup>1</sup>.

### Resultaten CO<sub>2</sub>-emissie geothermiebron

De CO<sub>2</sub>-emissie van een geothermie installatie is uitgerekend voor de jaren 2020, 2030 en het fictieve jaar 20XX. Voor het jaar 20XX wordt aangenomen dat elektriciteit volledig duurzaam wordt opgewekt en de CO<sub>2</sub>-emissiefactor van de elektriciteit nul is.



FIGUUR 4 - CO<sub>2</sub>-EMISSION VAN EEN GEOTHERMIEBRON UITGESPLITST NAAR VOOR 2015, 2020, 2030 EN 20XX (HET JAAR WAARIN DE CO<sub>2</sub>-EMISSION VAN ELEKTRICITEIT NUL ZAL ZIJN). EMISSIONS VAN DRIE EERDER UITGEVOERDE STUDIES ZIJN OOK WEERGEGEVEN<sup>4,5,6</sup> (CE DELFT, GREENVIS EN MRA).

Figuur 4 laat een duidelijke trend zien in de afname van de totale CO<sub>2</sub>-emissie over de tijd. Dit komt omdat de emissie gerelateerd aan het elektriciteitsgebruik van de pompen met de tijd zal afnemen door de verduurzaming van de elektriciteitsproductie<sup>1</sup>. Deze verduurzaming zorgt ervoor dat in de toekomst de COP van de pompen steeds minder relevant wordt voor de totale CO<sub>2</sub>-emissie van een geothermie-installatie. De CO<sub>2</sub>-emissie van de bijvangst zal dan verantwoordelijk zijn voor het grootste deel van de CO<sub>2</sub>-emissie. De emissie van de bijvangst voor reservoirs uit het Perm is gemiddeld 2,2 kg CO<sub>2</sub>/GJ. Voor formaties uit het Jura/Krijt is dit gemiddeld 7,4 kg CO<sub>2</sub>/GJ. Figuur 4 toont ook de resultaten van eerdere onderzoeken. Door het meerekenen van de CO<sub>2</sub>-emissie van de bijvangst komen de huidige resultaten hoger uit dan bij de eerder uitgevoerde studies<sup>4,5,6</sup>.

## **CO<sub>2</sub>-EMISSIE VAN EEN GEOTHERMIEBRON IN EEN WARMTENETWERK IN STEDELIJK GEBIED**

De CO<sub>2</sub>-emissies van een geothermiebron in een warmtenetwerk in stedelijk gebied zijn berekend voor de jaren 2020, 2030 en 20XX. In de volgende discussie wordt de keuze voor deze scenario's van een geothermiebron in een warmtenet en de uitgangspunten die zijn gehanteerd in de berekeningen uitgelegd.

### **Discussie warmtenetten**

De keuze om niet enkel de CO<sub>2</sub>-emissie van een geothermiebron te berekenen, maar ook de combinatie van een warmtenet met geothermiebron te analyseren is gemaakt omdat een op zichzelf staande bron niet direct de CV-ketel zal vervangen. Deze wordt namelijk vervangen door een warmtenet met een bron. Daarom is het belangrijk om de componenten van het warmtenet verantwoordelijk voor verdere CO<sub>2</sub>-emissies, zoals het warmteverlies en de bijstook (pieklast), ook te evalueren. De emissie van een geothermiebron zonder warmtenet zou vergeleken moeten worden met een andere centrale warmtebron zoals een warmte-krachtkoppelingsinstallatie (WKK) of een stoom- en gasturbine (STEG). Het Klimaatakkoord gaat echter juist uit van een enorme groei van de hoeveelheid warmtenetten als vervanging van CV-ketels, waardoor de vergelijking met bijvoorbeeld een WKK niet opgaat. Daarom zou geothermie moeten worden ingezet samen met andere duurzame alternatieven, zoals biomassa, restwarmte of aquathermie (zie p. 17).

De scenario's die geanalyseerd zijn in deze studie gaan uit van een nieuw warmtenetwerk met geothermie als duurzame warmtebron. Dit is gedaan omdat de huidige warmtemarkt slechts voor ongeveer 5% uit warmtenetten bestaat en de ramingen voor warmtenetten in 2030 bijna 30% hoger zijn<sup>1</sup>. Deze cijfers tonen aan dat er een groot groeipotentieel is voor nieuwe netwerken. Daarom is de keuze gemaakt om in de scenario's naar een nieuw netwerk te kijken. Daarnaast zullen deze nieuwe netwerken mogelijk op een lagere temperatuur opereren (ongeveer 70 °C) en verder uitgekoeld worden (tot ongeveer 40 °C). Deze uitkoeling zorgt ervoor dat er netto meer warmte uit de geothermiebron kan worden gewonnen wat de duurzaamheid van geothermie ten goede komt. Bovendien komen door de lagere invoertemperatuur in vergelijking met 'oude' warmtenetten meer geothermiebronnen in aanmerking als bron.



Voor het inpassen van geothermie in bestaande hoge-temperatuur warmtenetten (100-120 °C aanvoertemperatuur) is geen casus uitgewerkt, maar deze zou uit moeten gaan van een combinatie van meerdere bronnen en gebruik moeten maken van warmtepompen. Het doel van deze studie is echter het berekenen van de duurzaamheid van de geothermiebron in een warmtenet. Daarom is in deze studie geen rekening gehouden met grotere netten met een mix van warmtebronnen, maar besloten om een net (met een laag aantal woonequivalenten en korte leidingstructuur) met één geothermiebron te analyseren. Ook is het aannemelijk dat bij het ontwikkelen van geothermiebronnen in stedelijk gebied een warmtenet wordt ontworpen wat optimaal bij de bron past. Met optimaal wordt hier bedoeld dat de duurzame warmtebron een zo groot mogelijk deel van de warmtevraag levert, het aandeel fossiel zo klein mogelijk is, tegen een zo laag mogelijke prijs per gigajoule warmte. Dit leidt in het base case scenario voor 2030 tot een warmtenet met 80% inzet van de geothermiebron en 20% bijstook voorzien door aardgas. Deze dekkingsgraad komt voort als resultante van de brongrootte en het aantal woningequivalenten, zoals berekend in een gedetailleerd model opgesteld door Eneco, waarin op dagbasis wordt gekeken hoeveel een geothermiebron kan worden ingezet. Hierbij moet opgemerkt worden dat dit vanuit financieel oogpunt niet optimaal is, omdat het aantal vollasturen van een geothermiebron omlaaggaat wanneer je een hogere dekkingsgraad nastreeft.

Geothermie is als warmtebron met name geschikt als basislast van een warmtenet, waarbij de piekvraag (bijstook) wordt opgevangen met een andere bron. Als geothermie de enige bron van het warmtenetwerk is, zal deze een zeer hoog piekvermogen moeten hebben, dat vervolgens een groot deel van het jaar (in de zomer) niet gebruikt wordt. Ook is het technisch gezien gunstig om een geothermiebron zo constant mogelijk te laten draaien, om bijvoorbeeld verstopping van de put te voorkomen. Met geothermie als basislast kan de geothermiepomp continu aan blijven staan en vrij constant warmte leveren. Onderhoud, en daarmee kosten, aan het geothermiedoublet blijft op deze manier beperkt.

In de scenario's is gekozen voor het invullen van de piekvraag met aardgas. Hier is voor gekozen omdat verwacht wordt dat op de korte termijn op deze manier de piek wordt geleverd, en omdat er ook nog geen eenduidig alternatief voor dit aardgas is. Ook demonstreert het gebruik van aardgas in de piek hoe belangrijk het is dat op de langere termijn (richting 2040) deze piekvraag duurzaam wordt ingevuld.

Een warmtenetwerk op basis van geothermie voelt erg duurzaam aan en wordt ook vaak zo gepresenteerd, maar dit is nog niet eerder feitelijk onderbouwd. In deze beschouwing is het van belang om de gehele keten mee te nemen en niet alleen de bron; een aardwarmtebron vervangt nu eenmaal niet een cv-ketel. Daarom moet de uitstoot ten gevolge van formatiegas, piekgasketels, elektriciteitsgebruik en netverlies worden meegenomen. Uit de eigen analyse van Eneco blijkt aardwarmte dan niet zonder meer voldoetaan de 70% CO<sub>2</sub>-reductie eis uit het klimaatakkoord. Voor Eneco is het daarom van belang om te kijken hoe aardwarmte dan wel kan bijdragen aan deze doelstelling. Eneco is blij met de onderbouwing van deze uitdaging door TNO en ziet dit als een noodzakelijke stap om aardwarmte in de gebouwde omgeving langdurig succesvol te laten zijn.

Roald Arkesteijn, Eneco

## **OPTIMAAL WARMTENETWERK SCENARIO'S: 2020, 2030, 20XX**

Voor de scenario's is er gekozen voor een optimaal warmtenetwerk met geothermiebron. Dit betekent dat het grootste deel van de warmte wordt geleverd door deze duurzame warmtebron. In de scenario's komt dit neer op een warmtenetwerk waarvan in 80% van de vraag wordt voorzien door de geothermiebron, en 20% door bijstook met aardgas (pieklust). Deze 80/20 ratio laat zien dat aardwarmte warmte levert voor de basislast en een andere bron de pieken in de warmtevraag opvangt. Dit aandeel pieklust wordt in het scenario geleverd door bijstook met aardgas en heeft daardoor een negatieve invloed op de CO<sub>2</sub>-emissie van het systeem. Het is daarom wenselijk dit aandeel zo klein mogelijk te houden. Alternatieven voor bijstook met aardgas worden besproken in hoofdstuk 3.

In het scenario is de aanlevertemperatuur 70 °C. De gemiddelde productietemperatuur van de doubletten die produceren uit reservoirs van Perm- en Jura/Krijt-ouderdom is respectievelijk ongeveer 82 °C en 75 °C. Dit is hoog genoeg om aan het warmtenetwerk van 70 °C te leveren.

De operationele emissies in een warmtenetwerk zijn opgebouwd uit vijf onderdelen (Figuur 5);

– **Bronemissies**

Voor geothermie zijn deze opgebouwd uit emissies samenhangend met het gebruik van pompen en uit bijvangst (hoofdstuk 2). De bijvangst wordt verbrand in een ketel. Deze warmte is onderdeel van de totaal geleverde warmte van de geothermiebron.

– **Emissie uit bijstook**

Dit is in bestaande warmtenetten vaak een ketel op aardgas. Hier is in de berekeningen ook mee gerekend.

– **Warmteverliezen in (distributie)leidingen**

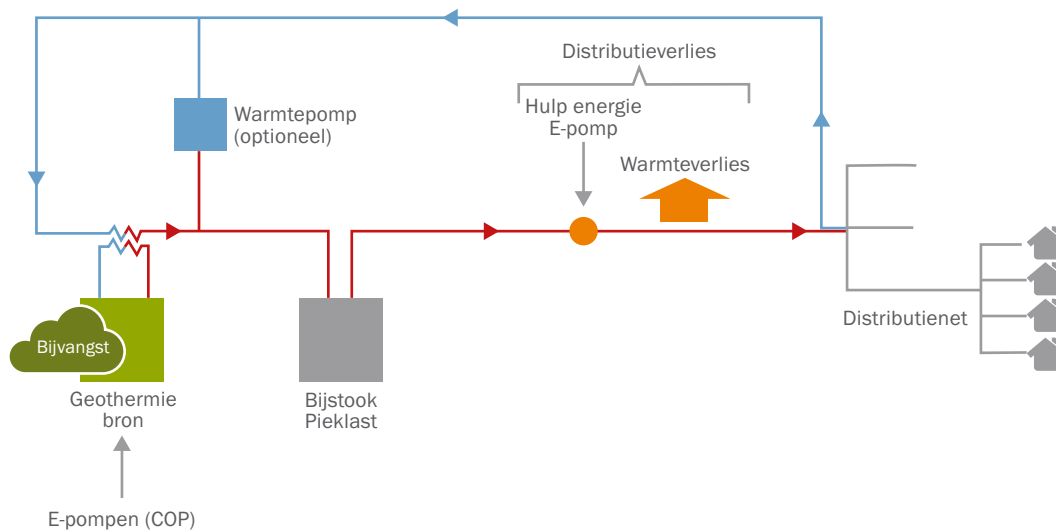
De leidingen in een warmtenet zijn optimaal geïsoleerd, desondanks is een mate van warmteverlies bij watertransport in het warmtenetwerk onvermijdelijk. Hierdoor moet er meer energie in het warmtenet gestopt worden. Het verlies in warmtenetwerken is sterk afhankelijk van de samenstelling van de aangesloten klantengroep en met name de verhouding tussen grootverbruikers en kleinverbruikers (woningen). Een warmtenet met veel grote afnemers heeft relatief weinig dunne leidingen en daardoor minder warmteverlies. Voor het type netwerken waar in deze studie rekening wordt gehouden (relatief klein met vooral individueel aangesloten woningen) kan het verlies oplopen van 10 tot 30%<sup>14</sup>. De warmteverliezen van de huidige warmtenetten (groot, met hoge temperaturen) liggen rond de 30%<sup>14</sup>. Het grootste deel van het verlies treedt op bij distributie in de wijk, door de vertakking van de leidingen<sup>14</sup>. Voor de berekening van de emissie door warmteverliezen wordt het warmteverlies als een percentage van de totale emissie beschouwd.

– **Hulpenergie voor transportpompen**

De hulpenergie voor de transportpompen die het water rondpompen in het warmtenet is over het algemeen te verwaarlozen ten opzichte van de warmteverliezen in de leidingen. In bestaande warmtenetten ligt de hulpenergie vaak rond 1,26% van de geleverde warmte<sup>15</sup>. Voor de berekeningen is de bijdrage van pompenergie aan de totale emissies daarom verwaarloosd, en zijn alleen de warmteverliezen in de leidingen meegenomen.

– **Eventuele emissies van een warmtepomp.**

Dit zijn emissies als gevolg van elektriciteitsverbruik dat nodig is voor het opwaarderen van de aanvoertemperatuur uit de bron, indien deze te laag is voor het net, en voor het eventueel verlagen van de retourtemperatuur (extra uitkoeling). Deze emissies zijn niet geëvalueerd in de base case berekeningen, maar uitkoeling door middel van een warmtepomp is wel als een scenario toegevoegd.



FIGUUR 5 – SYSTEMATISCH OVERZICHT VAN BRONNEN VAN CO<sub>2</sub>-EMISSION VAN EEN WARMTENET MET GEOTHERMIEBRON.

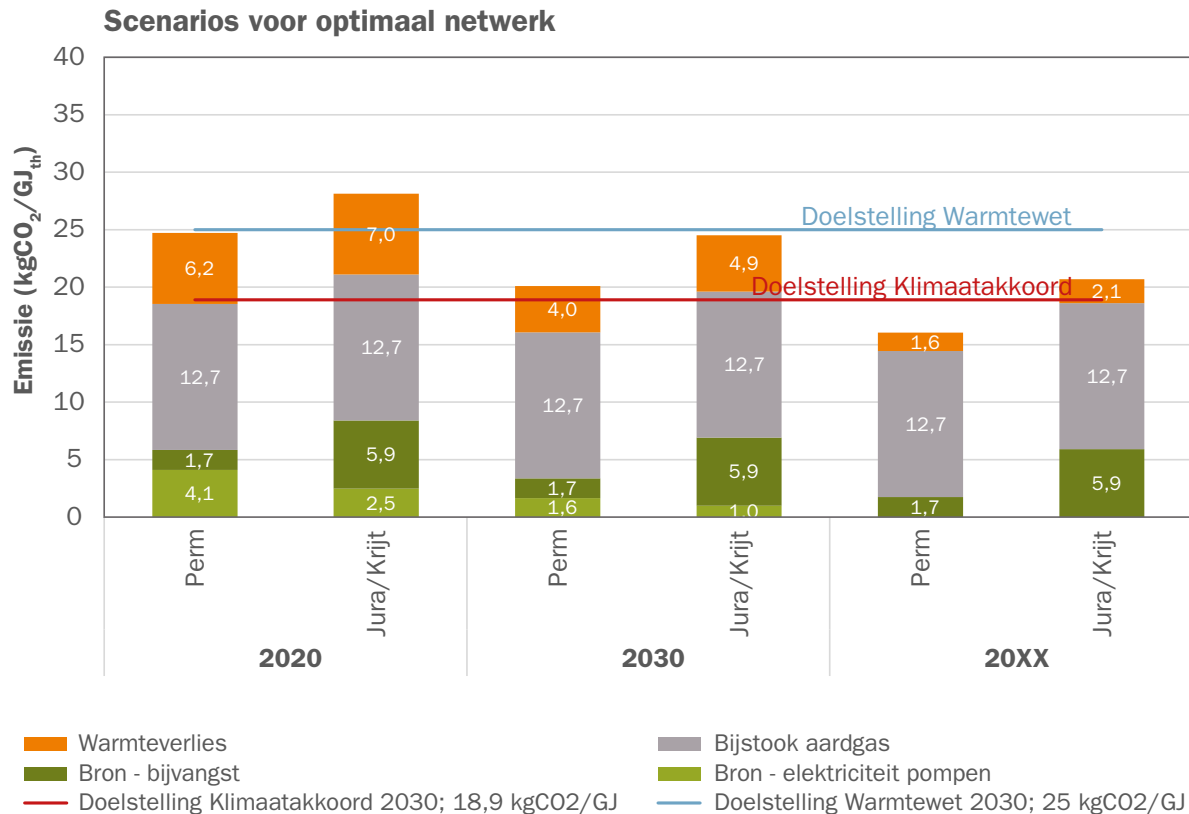
Tabel 1 toont voor de drie berekende scenario's het aandeel warmte van de totale warmtevraag dat wordt voldaan door de bron en de bijstook. Voor elk van deze factoren is de CO<sub>2</sub>-emissie per gigajoule warmte berekend. De percentages in tabel 1 zijn gebruikt om de CO<sub>2</sub>-emissie per onderdeel te bepalen. De warmteverliezen en CO<sub>2</sub>-emissiefactoren van de elektriciteitsmix variëren over tijd (weergegeven in Tabel 1). Het warmteverlies is een percentage dat wordt vermenigvuldigd met de totale CO<sub>2</sub>-emissie van het systeem. In Denemarken bestaan enkele warmtenetwerken met warmteverliezen van tien procent<sup>16</sup>. Dat de warmteverliezen hier zo laag kunnen zijn heeft te maken met een gunstige combinatie van de capaciteit van het warmtenet en de lineaire warmtedichtheid (warmte per meter pijplengte)<sup>14</sup>. Ook factoren als de aanvoertemperatuur van het net, de warmteafname per individuele klant en de compactheid van het net spelen een rol. Het is de verwachting dat innovaties op dit gebied en optimalisatie in temperatuurniveau, leidingsystemen en lay-out van netstructuren ook in Nederland zullen zorgen voor optimalisering van de efficiëntie van het warmtenet. In de scenario's is rekening gehouden met een reductie van het warmteverlies van 25% in 2020 naar 10% in 20XX.

TABEL 1 - AANNAMES WARMTENET SCENARIO'S.

Scenario's	Warmtenet - optimaal 70-40°C 2020 (huidig)		Warmtenet - optimaal 70-40°C 2030 (base case)		Warmtenet - optimaal 70-40°C 20XX (toekomst)	
	Perm	Jura/Krijt	Perm	Jura/Krijt	Perm	Jura/Krijt
Bron	80%	80%	80%	80%	80%	80%
Bijstook	20%	20%	20%	20%	20%	20%
Warmteverlies	25%	25%	20%	20%	10%	10%
Emissiefactor elektriciteit [kg/kWh]	0,3	0,3	0,12	0,12	0	0
Bijvangst [m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]	0,3	1	0,3	1	0,3	1



Figuur 6 laat de resultaten van de verschillende scenario's voor het hierboven beschreven optimale warmtenetwerk met geothermiebron zien. De CO<sub>2</sub>-emissie neemt af over tijd doordat de elektriciteitsmix verduurzaamt en de warmteverliezen lager worden.



FIGUUR 6 - SYSTEEMEMISSIE VOOR EEN GEOTHERMIEBRON IN EEN WARMTENETWERK IN STEDELIJKE OMGEVING. DE RODE LIJN GEEFT DE DOELSTELLING AAN VAN 70% EMISSIE REDUCTIE UIT HET KLIMAATAKKOORD, DE BLAUWE LIJN DE NORMSTELLING UIT DE WARMTEWET.

Het Klimaatakkoord eist dat warmtenetten in 2030 gemiddeld 70% minder CO<sub>2</sub> uitstoten ten opzichte van een CV-ketel op aardgas. Figuur 6 laat zien dat dit in 2020 niet gehaald wordt met de huidige bron- en systeemeigenschappen, maar dat dit in 2030 wel het geval kan zijn. Ook vallen de berekende scenario's voor 2030 en 20XX wel onder de grens van 25 kg CO<sub>2</sub>/GJ die voor 2030 is bepaald in het voorstel Warmtewet<sup>3</sup>. De bijstook op aardgas blijft verantwoordelijk voor een groot deel van de CO<sub>2</sub>-uitstoot (ongeveer 50-80%). De bronnen voor bijstook zullen naar verwachting in de toekomst ook verduurzamen. De mate van verduurzaming is afhankelijk van nog te ontwikkelen technologieën, zoals (groene) waterstof. Hier zijn nu nog geen kengetallen voor. Daarom zijn deze verduurzamingsopties niet in beschouwing genomen in de scenario's die in dit hoofdstuk uitgewerkt zijn. Daarnaast valt er veel winst te behalen door het warmteverlies te verminderen.

Wanneer de systeememissies vergeleken worden met de emissies berekend voor warmtenetten met (andere) duurzame warmtebronnen, is geothermie nog steeds even duurzaam of duurzamer. In de MRA-studie zijn de CO<sub>2</sub>-emissies van verschillende bronnen in een warmtenet berekend voor het jaar 2020. Hierbij is aangenomen dat de bron 85% van de warmtevraag levert. De systeememissie is berekend op 13 kg CO<sub>2</sub>/GJ voor biomassa, 25 kg CO<sub>2</sub>/GJ voor een warmtenet met afvalcentrale en 26,4 kg CO<sub>2</sub>/GJ voor restwarmte<sup>4</sup>. In de recent gepubliceerde studie van Greenvis<sup>6</sup> is een prognose opgesteld voor 2030. Bij het berekenen van de CO<sub>2</sub>-emissies voor verschillende warmtebronnen in een warmtenet is aangenomen dat de bron 90% van de warmtevraag dekt en het overige deel door aardgas wordt geleverd. Voor zowel aftapwarmte (met bijstook van biomassa) en bio-energie geldt een systeememissie van ongeveer 13 kg CO<sub>2</sub>/GJ in 2030<sup>6</sup>. Voor WKO in een warmtenet is een CO<sub>2</sub>-emissie van ongeveer 21 kg CO<sub>2</sub>/GJ berekend, en voor een afvalverbrandingsinstallatie van ongeveer 8 kg CO<sub>2</sub>/GJ. Deze vergelijking laat zien dat ten opzichte van andere duurzame bronnen geothermie goed scoort, zowel als bron (4,3-8,6 kg CO<sub>2</sub>/GJ) maar ook in een warmtenet (20-25 kg CO<sub>2</sub>/GJ). Deze studies zijn echter lastig met elkaar te vergelijken door andere uitgangspunten in de berekeningen, zoals het aandeel van de bron/bijstook. Om een goede vergelijking te kunnen maken is een aanvullende studie nodig waarin alle uitgangspunten hetzelfde zijn.

## CASUS ZWOLLE

Zwolle wil de komende jaren een innovatieve geothermiebron ontwikkelen met het onderzoeksprogramma RESULT<sup>17</sup>. Dit geothermiedoublet zal naar verwachting warmte gaan produceren uit een dunne watervoerende laag van Perm-ouderdom. De geothermiebron wordt als duurzame warmtebron ingezet in de nabijgelegen wijken Holtenbroek en Aa-landen. Voor deze wijken lijkt een warmtenet het beste alternatief voor verwarmen met aardgas<sup>17</sup>. Dit warmtenet wordt zo ingericht dat het kan uitgroeien naar een toekomstbestendig, flexibel en robuust warmtenet. Het kan daarom worden gezien als optimaal net in stedelijke omgeving. Figuur 7 laat een conceptvoorstel zien voor de locatie van de geothermiebron, het tracé en de woningen die op het net aangesloten zullen worden.

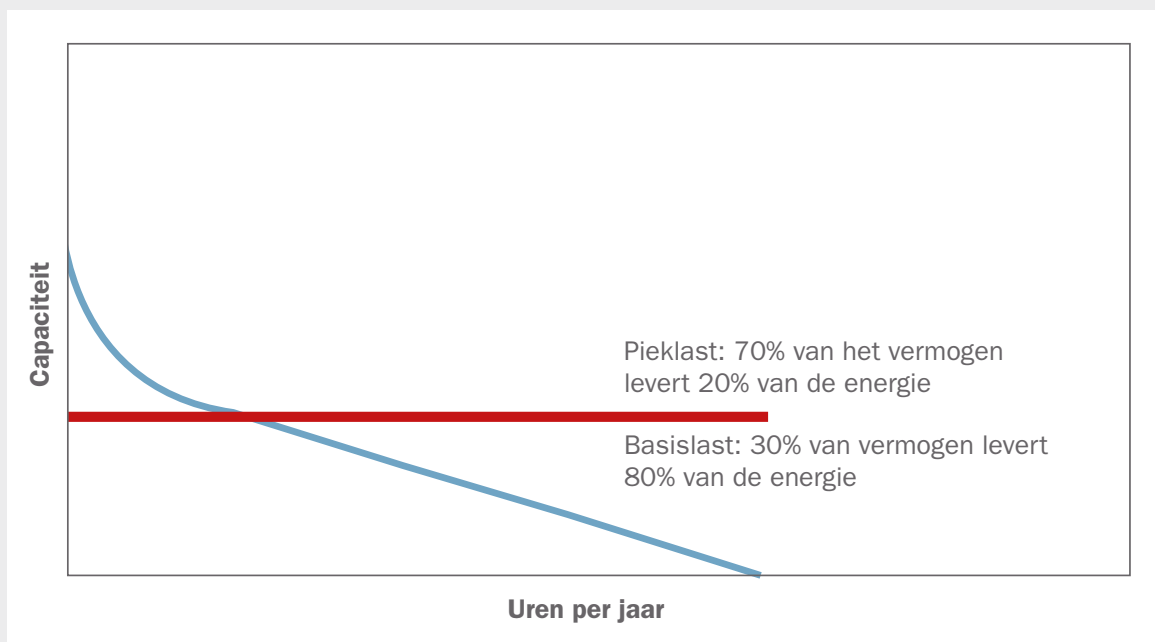
“De gemeente Zwolle staat aan het begin van de ontwikkeling van een warmtenet. Het is van groot belang om nu de goede keuzes te maken, zodat de eerste fase van een Zwols warmtenet aan de voorwaarden voldoet om op termijn uit te kunnen groeien tot een toekomstbestendig, flexibel en robuust warmtenet”<sup>18</sup>.



FIGUUR 7 – CONTOUREN EERSTE FASE VAN HET WARMTENET EN DE GEOTHERMIEBRON IN ZWOLLE (BRON: CORRESPONDENTIE ERIC HUYGEN, GEMEENTE ZWOLLE)

Waar in de berekeningen in deze studie data is gebruikt van doubletten die alleen warmte leveren aan de glastuinbouw, wordt de Zwolle-casus gebruikt als voorbeeld van een geothermiebron in een stedelijk warmtenet.

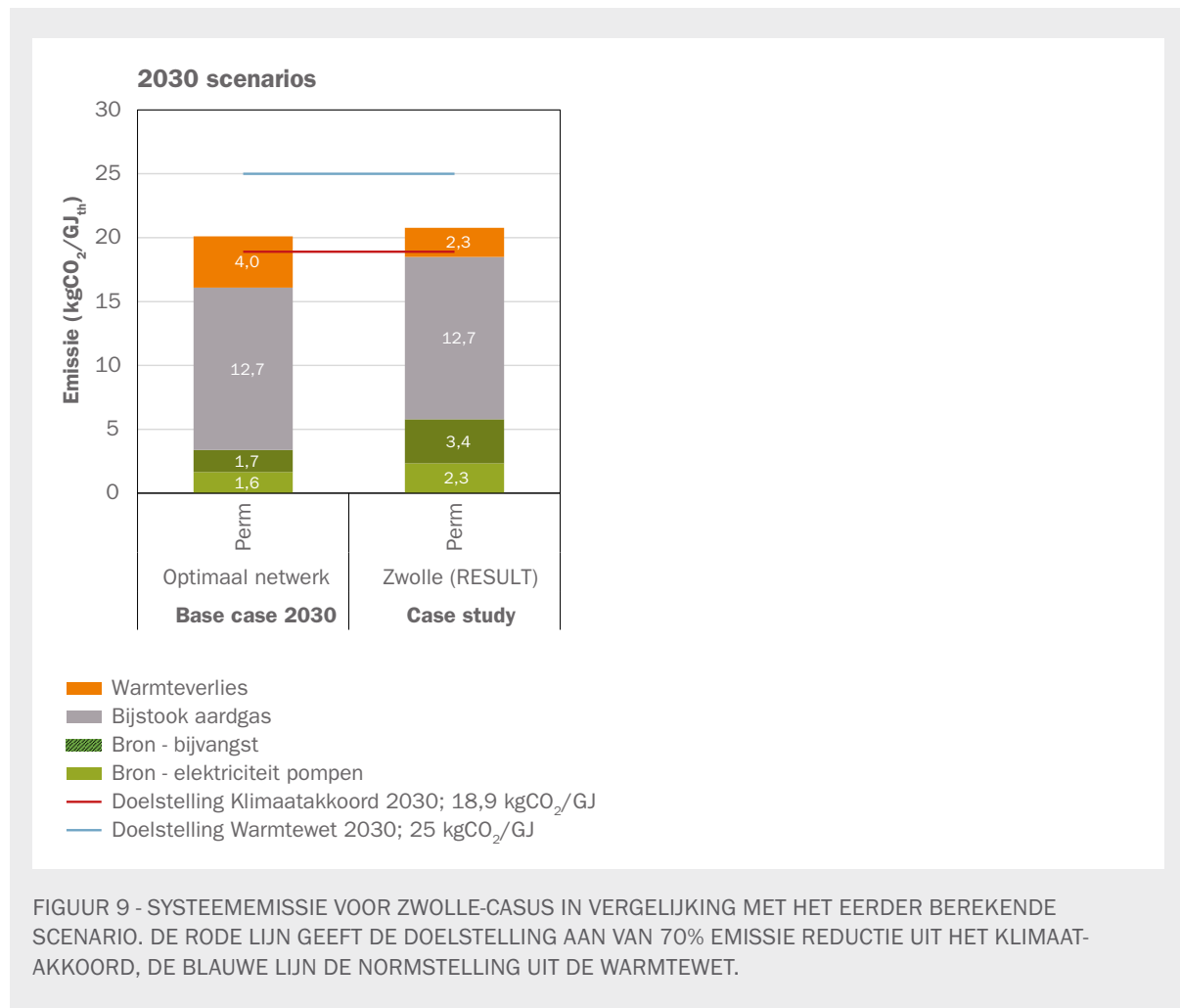
Er zullen ca. 4.000 woningequivalenten worden aangesloten op het net, met een totale warmtevraag van ca. 135.000 GJ (inclusief ca. 10% leidingverlies). 80% van de warmtevraag zal worden gedekt door een geothermiebron. Een buffervat van 3000 m<sup>3</sup> zorgt voor optimalisatie van de dekkingsgraad. De overige 20% van de warmtevraag wordt opgevuld door bijstook met aardgas. Figuur 8 laat een raming van de belastingduurkromme voor het warmtesysteem zien. De warmteverliezen in het systeem worden geraamd op 10% doordat voornamelijk gestapelde bouw op het net wordt aangesloten. Hierdoor is de compactheid van het net groot en blijven warmteverliezen beperkt. Er wordt 1% verlies geraamd voor de pompenergie, dit is een verwaarloosbare hoeveelheid en is daarom net zoals in de eerdere berekeningen buiten beschouwing gelaten.



FIGUUR 8 – BELASTINGDUURKROMME VOOR HET WARMTESYSTEEM IN ZWOLLE.

De berekende CO<sub>2</sub>-emissie van het systeem in Zwolle komt sterk overeen met CO<sub>2</sub>-emissie van de eerder berekende scenario's (Figuur 9). De iets hogere bronemissies voor de Zwolle-casus worden veroorzaakt doordat het geothermiedoublet in Zwolle op een lager vermogen zal draaien dan de geothermiedoubletten in de glastuinbouw. De hoeveelheid bijstook is hetzelfde als bij het eerder berekende scenario omdat het aandeel geothermiebron/bijstook hetzelfde is (verhouding 80/20). Het warmteverlies is beperkt gehouden tot 10%, wat significant lager is dan de warmteverliezen in bestaande netten die rond de 30% liggen.







# 3. NAAR EEN CO<sub>2</sub>-NEUTRAAL COLLECTIEF WARMTE- NETWERK





## › 3. NAAR EEN CO<sub>2</sub>-NEUTRAAL COLLECTIEF WARMTENETWERK

Zowel de geothermiebron als de eigenschappen van het warmtenet hebben een aandeel in de totale CO<sub>2</sub>-emissie van het warmtenet. De beoogde normstelling van 25 kg CO<sub>2</sub>/GJ wordt in de meeste scenario's wel bereikt. Het is echter belangrijk om, met het oog op de doelstelling van het Klimaatakkoord en het voornemen om in de toekomst uiteindelijk CO<sub>2</sub>-neutraal te opereren, opties voor verdere verduurzaming te beschouwen. Verduurzamingsopties voor zowel de geothermiebron als voor het warmtenet zijn hiervoor nodig. In de volgende paragrafen worden deze verduurzamingsopties op een rij gezet. Deze opties worden vanuit een technisch perspectief beschreven. De benodigde kosten vallen echter buiten de reikwijdte van dit onderzoek.

### VERDUURZAMING GEOTHERMIEBRON

Operators kunnen binnen nu en vijf jaar al beginnen met het verduurzamen van de bestaande geothermiebronnen. De emissie van de bronpompen zal, naarmate de elektriciteitsmix verduurzaamt, kleiner worden en uiteindelijk nul zijn wanneer de elektriciteit volledig uit duurzame bronnen wordt opgewekt. Het volledig verduurzamen van de bron komt daarom vooral neer op het verminderen van de uitstoot als gevolg van de bijvangst. Op de langere termijn is het zelfs gewenst om de CO<sub>2</sub> af te vangen of om geothermiebronnen te ontwikkelen die helemaal geen bijvangst produceren.

#### Koolstofdioxide afvangen

Een mogelijkheid tot verdere verduurzaming is het afvangen van CO<sub>2</sub> na verbranding in de ketel. Er zijn verschillende manieren waarop CO<sub>2</sub> verwerkt kan worden, zoals opslag<sup>19,20</sup>, injectie in het reservoir of verkoop aan bijvoorbeeld de glastuinbouw.

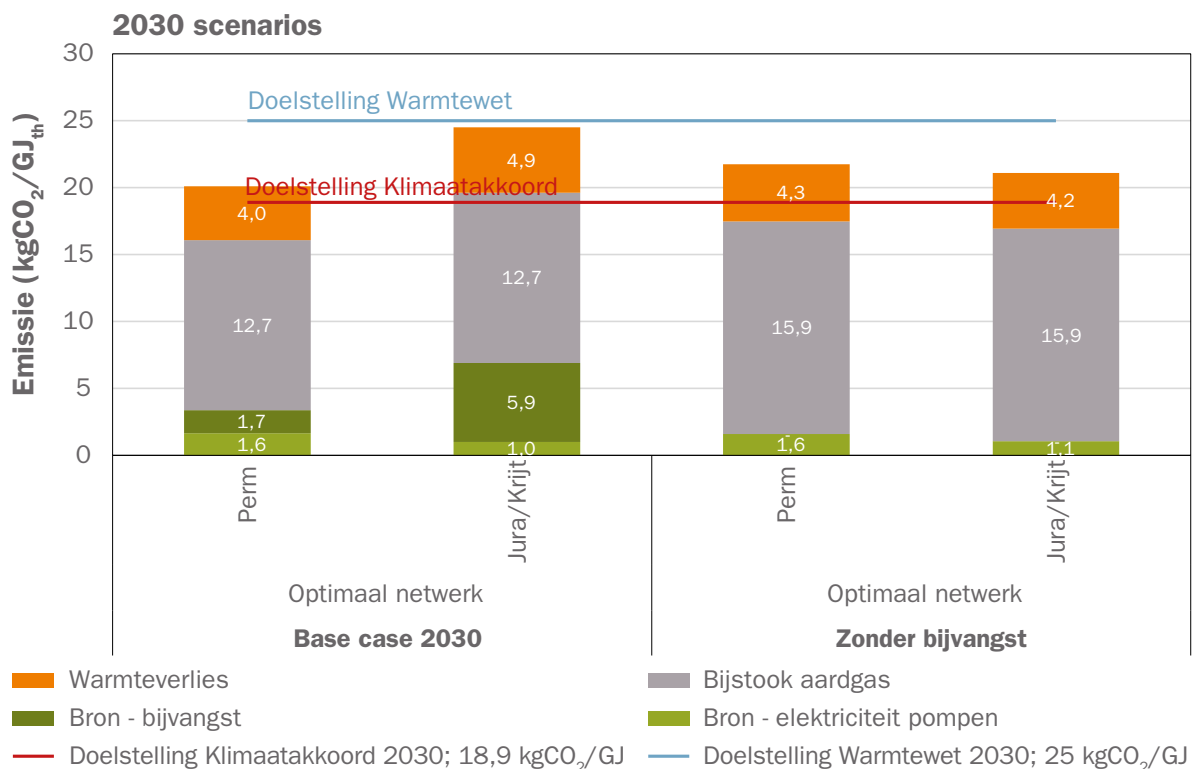
#### Mitigatie van bijvangst

Een mogelijke oplossing om bijvangst te vermijden, is het niet produceren ervan. Hierbij moet het gas opgelost blijven in het formatiewater om vervolgens weer geïnjecteerd te worden. De druk in het oppervlaktesysteem moet daarvoor zodanig hoog zijn dat het gas in het water opgelost blijft. Een bezwaar hiertegen zijn de veiligheidsrisico's en extra kosten die ontstaan bij de hoge systeemdrukken. Het is van belang deze technieken op een veilige manier (verder) te ontwikkelen, mocht dit in de toekomst op grotere schaal worden toegepast.

Bij het realiseren van het aardwarmteproject Floricultura was ons streven om lokaal en emissieloos ons kassencomplex te verwarmen. Het niet ontgassen was ook conform onze strategie om in het ontwerp zoveel mogelijk ons bekende operationele problemen te ondervangen. Het zo min mogelijk veranderingen aanbrengen aan het opgepompte medium draagt daaraan bij. Om het gas ‘in oplossing’ te houden hebben we een robuust systeem aangelegd dat in zijn geheel is onderworpen aan een Keuring voor Ingebruikneming.

Wart van Zonneveld, Floricultura

Om het effect van het mitigeren van de bijvangst te laten zien is een scenario voor 2030 doorgerekend zonder bijvangst (Figuur 10). Door het ontbreken van bijvangst, ontbreekt ook de warmte die hierdoor geleverd wordt. Dit wordt opgevangen door extra bijstook. Vooral bij de formaties met een grote hoeveelheid gas (Jura/Krijt) vermindert hierdoor de uitstoot aanzienlijk. De totale CO<sub>2</sub>-uitstoot komt dicht bij de doelstelling van het Klimaatakkoord.



FIGUUR 10 - SYSTEEMEMISSIE VOOR EEN GEOTHERMIEBRON IN EEN WARMTENETWERK IN STEDELIJKE OMGEVING IN 2030, ZONDER BIJVANGST. DE RODE LIJN GEEFT DE DOELSTELLING AAN VAN 70% EMISSIE REDUCTIE UIT HET KLIMAATAKKOORD, DE BLAUWE LIJN DE NORMSTELLING UIT DE WARMTEWET.

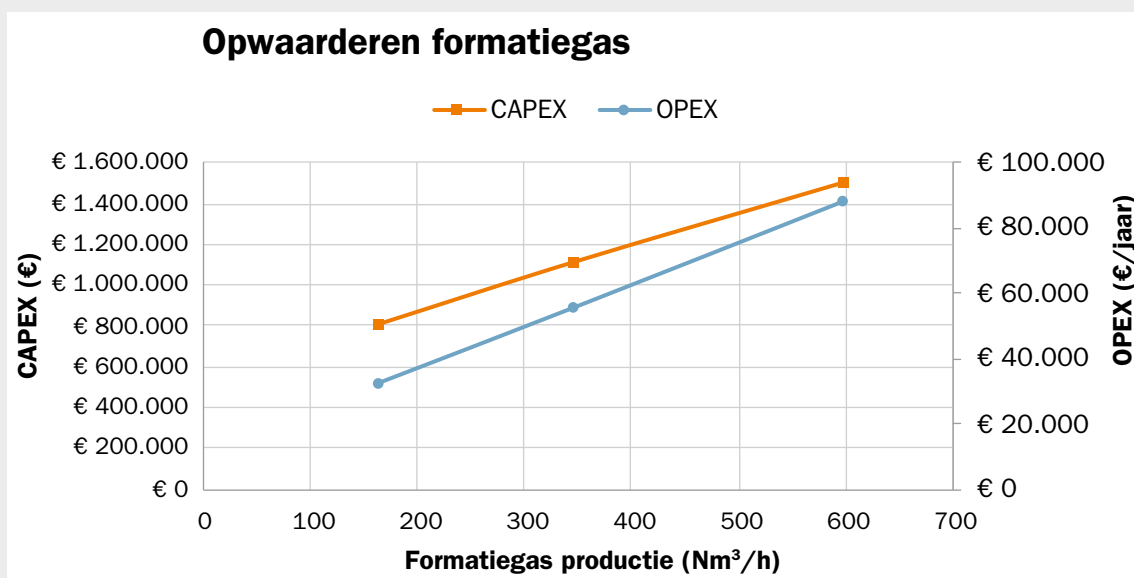


### Bijvangst voor het gasnetwerk

Momenteel wordt de bijvangst verbrand in een ketel, waardoor de warmte te benutten is. De CO<sub>2</sub> die daarbij vrijkomt wordt toegekend aan de bron. Een alternatief is om de bijvangst aan een gasnetwerk te leveren. Hiermee wordt op positieve wijze bijgedragen aan de transitie naar duurzame energie omdat met het dichtdraaien van de Groningse gaskraan, Nederland steeds meer gas zal moeten importeren. Dit gas, dat onder meer uit Rusland komt, heeft een grotere CO<sub>2</sub>-voetafdruk dan Nederlands aardgas<sup>21</sup>. Het leveren van gas aan het gasnetwerk is een tussenoplossing in de transitie naar een duurzaam warmtesysteem, omdat het op korte termijn eenvoudig te implementeren is en het geothermische systeem verder niet beïnvloedt. De kosten voor het opwaarderen van het formatiegas naar Groningen-gaskwaliteit liggen voor een bron die 200 Nm<sup>3</sup>/uur formatiegas produceert rond de 40.000€ (OPEX) en 850.000€ (CAPEX)<sup>22</sup> (Zie testimonium DMT).

## DMT ENVIRONMENTAL TECHNOLOGY

DMT is een bedrijf gespecialiseerd in gas behandeling zoals het opwaarderen en ontzwavelen van biogas. DMT heeft in samenspraak met Haagsche Aardwarmte een inschatting gemaakt van de CAPEX en OPEX die benodigd zijn voor het opwaarderen van formatiegas naar Nederlands Gronings gaskwaliteit. De grafiek hieronder geeft een high-level overzicht van CAPEX/OPEX per Nm<sup>3</sup>/uur gasproductie.



[www.dmt-et.nl](http://www.dmt-et.nl)

## TESTIMONIAL JAN WILLEM RÖSINGH, HAAGSCHE AARDWARMTE

### Wat doen we met formatiegas

Bij de productie van aardwarmte komt in veel gevallen ook opgelost “geogas”, beter gezegd formatiegas, mee naar boven. Het formatiegas wordt door een gas/vloeistofscheider uit het formatiewater gehaald om vervolgens “nuttig” gebruikt te worden in een ketel of WKK.

Het verbranden van dit gas, ook al is de hoeveelheid zeer beperkt in vergelijking met conventionele aardgasverbranding ten behoeve van verwarmingsdoeleinden, veroorzaakt uitstoot van CO<sub>2</sub> en stikstof. De warmte uit het fossiele formatiegas kan daardoor de duurzaamheid van aardwarmte verlagen waardoor geothermie een minder interessante bron wordt voor de het stedelijk warmtenet en haar klanten. Er zijn in dit geval verschillende alternatieven zoals:

1. het formatiegas in oplossing houden en terug injecteren in de bodem;
2. de CO<sub>2</sub> afvangen en oplossen in het formatiewater;
3. het formatiegas opwerken naar aardgaskwaliteit en injecteren in het aardgasnetwerk.

Deze laatste (optie 3) biedt op dit moment het meeste perspectief omdat deze optie het geothermieproces het minst beïnvloedt. Het formatiegas moet in dit geval gedroogd en gefilterd worden en de calorische waarde van het geogas moet naar beneden gebracht worden zodat het een vergelijkbare waarde heeft als het Nederlandse Groningse aardgas. Ook moet er wel voldoende vraag zijn op het aardgas netwerk om het geogas te kunnen opnemen en moet de infrastructuur aangelegd kunnen worden naar de geothermie inrichting.

De techniek is bewezen, er zijn verschillende leveranciers en de behuizing vergt een minimale oppervlakte.

### Ondiepe geothermie

Op termijn is ondiepe geothermie mogelijk een aantrekkelijke warmtebron. Het gaat dan om een geothermisch systeem met putten tot de diepte van de basis van de Noordzee Groep<sup>23</sup>. Deze diepte varieert in Nederland tussen ongeveer 200-1800 m t.o.v. NAP<sup>24</sup>. Een ondiep geothermiesysteem levert water met een temperatuur van 30 tot 50 °C. Deze lage-temperatuurwarmte kan niet of moeizaam in de bestaande hoge- en midden temperatuur warmtenetten (> 70 °C) ingepast worden. Wanneer in de toekomst gebouwen beter geïsoleerd zijn en consumenten zelf ook meer gaan bijdragen aan het verduurzamen van hun woning, kan het belang van lage-temperatuurwarmte voor ruimteverwarming toenemen.

Er is nog weinig ervaring met ondiepe geothermie in Nederland. Op dit moment is een systeem in Zevenbergen het enige operationele ondiepe geothermiesysteem. Deze bron produceert water uit het Brussels Zand Laagpakket, op ongeveer 700 m diepte met een temperatuur van 30 °C. Hierbij is geen sprake van bijvangst van formatiegas. Hoewel er nog weinig data beschikbaar is, is er naar verwachting minder formatiegas aanwezig in ondiepe geothermie formaties, wat de CO<sub>2</sub>-emissie van deze systemen ten goede komt. Er komen in Nederland echter ook gasvelden voor op geringe diepte<sup>25</sup>. Het is dus belangrijk om een goed begrip te hebben van het mogelijk voorkomen van ondiep gas.

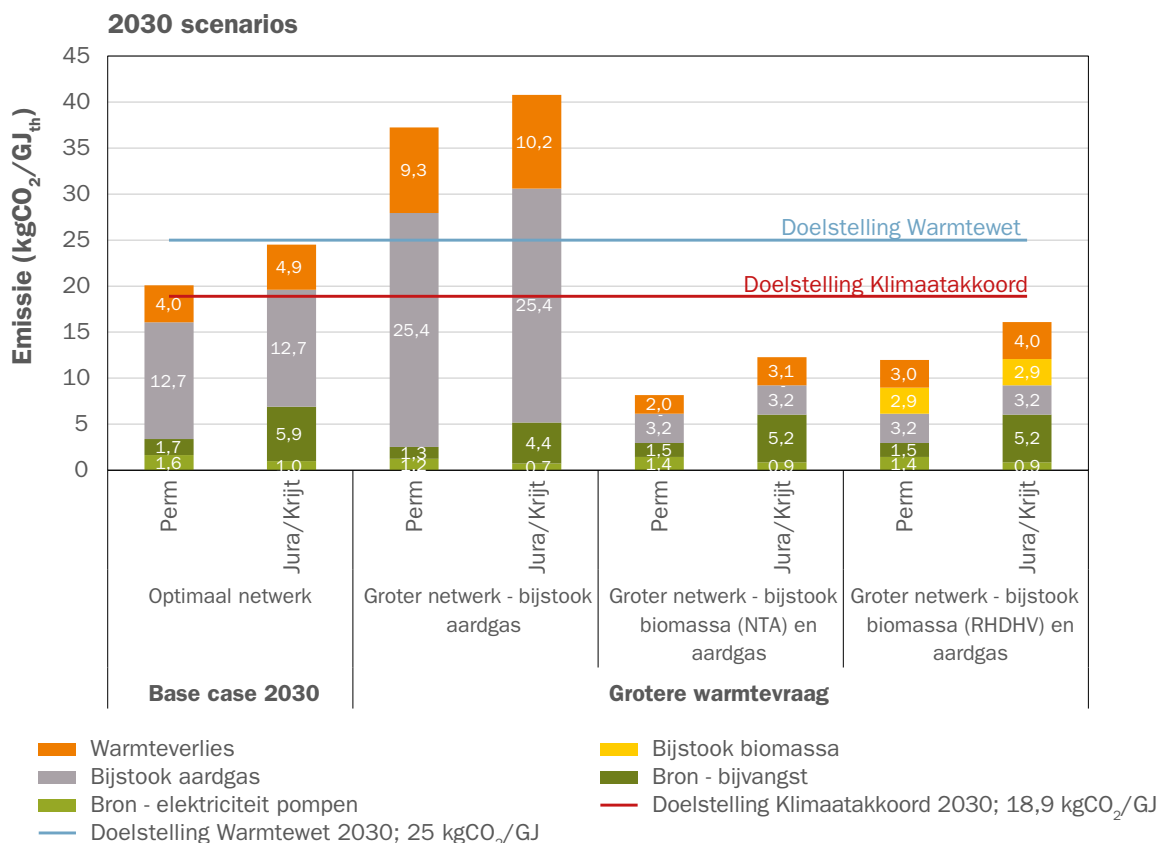
## VERDUURZAMING VAN EEN WARMTENET MET GEOTHERMIEBRON

Naast innovaties van de geothermiebron is het van belang om te kijken naar de verduurzaming van warmtenetwerken. De berekeningen laten zien dat de bijstook een groot deel van de totale CO<sub>2</sub>-emissie uitmaakt. Verminderen van warmteverliezen komt de duurzaamheid van het gehele systeem ten goede

### Schaalbaarheid geothermiebron in warmtenet

In deze studie is gerekend met een optimaal warmtenetwerk. Het is van groot belang voor de duurzaamheid van het warmtenet om te zorgen dat de bron goed past bij het netwerk en vice versa. Hiermee wordt bedoeld dat het voor de duurzaamheid van het warmtenet wenselijk is om een groot aandeel van de warmte te leveren met de duurzame warmtebron, in dit geval een geothermiebron. Dit betekent wel dat de geothermie bron niet continu op maximaal vermogen zal draaien, wat weer minder gunstig is voor de businesscase.

Om de invloed hiervan op de duurzaamheid te demonstreren, is een scenario doorgerekend met een groter netwerk. Hierbij kan in 60% van de vraag worden voorzien door de geothermiebron, en 40% moet worden opgevangen door bijstook. Dit resulteert in een toename van de CO<sub>2</sub>-uitstoot van het systeem van 60-80% (Figuur 11). Deze toename in CO<sub>2</sub>-emissie is te wijten aan het grote aandeel bijstook wat in deze casus geleverd wordt door een aardgasketel. In deze case zou het wenselijk zijn om dit deel van de warmtevraag te voorzien met een andere duurzame bron zoals groen gas, biomassa of waterstof. In de praktijk ziet men al dat het aandeel bijstook in bestaande warmtenetten vrijwel nooit zo groot is (tussen de 2% en 37%)<sup>26,27</sup>. Er is daarom ook een scenario doorgerekend voor een groot warmtenet waarbij 70% van de warmtevraag wordt gedekt door een geothermiebron, 25% van de warmtevraag door biomassa<sup>21,28</sup> en de resulterende 5% bijstook wordt gedekt door een ketel op aardgas (Figuur 11). De resultaten laten zien dat emissies in een groot warmtenet snel dalen door de bijstook op aardgas te vervangen door een duurzamer alternatief.



FIGUUR 11- SYSTEEMEMISSIE VOOR EEN GEOTHERMIEBRON IN EEN WARMTENETWERK IN STEDELIJKE OMGEVING IN 2030, IN VERGELIJKING MET EEN GROTER WARMTENET MET PIEKLAST OP: ENKEL AARDGAS, EN BIOMASSA EN AARDGAS. VOOR BIOMASSA IS EEN UITSTOOT VAN 0 KG CO<sub>2</sub>/GJ GENOMEN IN ÉÉN CASUS (NTA), EN VOOR DE ANDERE CASUS IS DE EMISSIE VAN BIOMASSA UIT DE VERENIGDE STATEN<sup>18</sup> GENOMEN (RHDHV), OM TE ILLUSTREREN DAT BIOMASSA VERSCHILLENDE CO<sub>2</sub>-EMISSIES MET ZICH MEEBRENGT. DE RODE LIJN GEEFT DE DOELSTELLING AAN VAN 70% EMISSIE REDUCTIE UIT HET KLIMAATPAKKOORD, DE BLAUWE LIJN DE NORMSTELLING UIT DE WARMTEWET.

### Bijstook verduurzamen

Huidige warmtenetten dekken over het algemeen de piekvraag (bijstook) in de winter met warmte uit gasketels, en uit STEG en afvalverbranders als deze voldoende flexibiliteit kennen. Jaarlijks wordt ongeveer 17 PJ van de warmtevraag voorzien met aardgas en steenkool<sup>1</sup>. De piekvraag is in de scenario's verantwoordelijk voor een groot deel (45-50%) van de totale CO<sub>2</sub>-emissie van een warmtenet. Om het warmtenetwerk duurzamer te kunnen maken, is het van belang alternatieve vormen van warmtevoorziening te overwegen. Biomassa wordt hierbij vaak als optie genoemd. RoyalHaskoningDHV stelt dat biomassa een forse reductie in emissies oplevert ten opzichte van aardgas<sup>21</sup>. De toepasbaarheid en de invloed op de luchtkwaliteit van biomassa staan momenteel politiek onder druk. Dit maakt de inzetbaarheid van deze bron in warmtenetten in de toekomst onzeker.

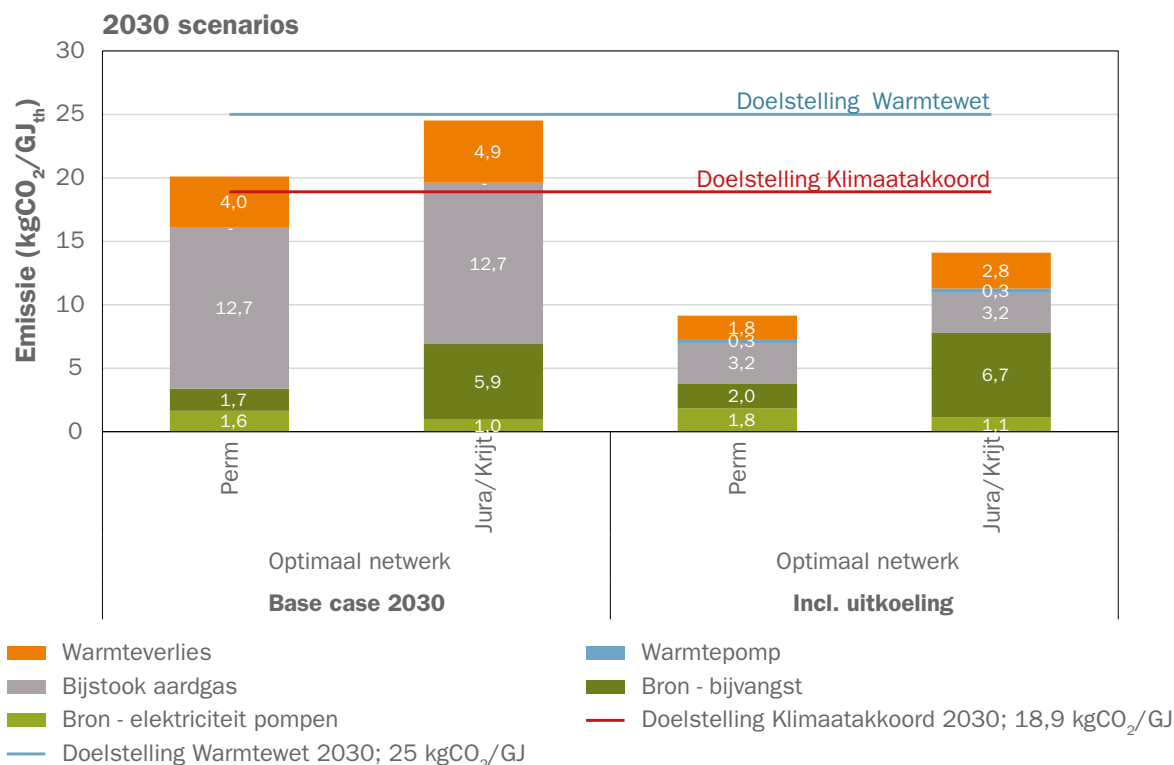
Een andere mogelijkheid om de bijstook te verduurzamen, is door de inzet van groen gas. Dit wordt gemaakt door verschillende soorten biomassa zoals slib, mest, hout en planten te vergisten, waarbij methaan wordt geproduceerd. Naar verwachting zal in 2030 ongeveer 2 miljard m<sup>3</sup> groen gas met een totale energie van 70 PJ per jaar beschikbaar zijn voor de gebouwde omgeving<sup>1,29</sup>.

Naast deze opties kunnen ook lagere-temperatuur warmtebronnen zoals aquathermie of restwarmte van datacenters, supermarkten en zwembaden elektrisch worden opgewaardeerd en ingezet. Ook groene waterstof is mogelijk een duurzame oplossing in de toekomst.

### Uitkoeling van de geothermiebron met warmtepomp

Het verder uitkoelen van een geothermiebron is het verlagen van de retourtemperatuur van het water, waardoor dus meer energie wordt onttrokken, bijvoorbeeld door inzet van een warmtepompen. Hierdoor neemt de verhouding van de geproduceerde warmte ten opzichte van de bijvangst toe, waardoor de CO<sub>2</sub>-impact van de bijvangst afneemt. Warmtepompen worden op dit moment, zowel collectief als individueel, al toegepast. Ook industriële warmtepompen zijn sterk in ontwikkeling<sup>30</sup>. De gebouwde omgeving kan hier op termijn ook van profiteren als het gaat om (bestaande) grote systemen met temperatuurniveaus van meer dan 100 °C.

Figuur 12 laat het effect van extra uitkoeling op de CO<sub>2</sub>-emissies van een warmtenetwerk met geothermiebron in 2030 zien. Door toepassing van de warmtepomp wordt de bron beter benut en is het aandeel bijstook kleiner. Ook is het aandeel CO<sub>2</sub>-emissie van de warmtepomp gering door de verlaagde CO<sub>2</sub>-emissiefactor van de elektriciteitsmix in 2030. Doordat de bron een relatief groter aandeel van de warmte levert, verandert de verhouding van de bron en de bijstook. Hierdoor gaat het aandeel van de bron omhoog en wordt de CO<sub>2</sub>-emissie van de bron iets hoger. Per saldo zorgt de extra uitkoeling voor een aanzienlijke reductie van de CO<sub>2</sub>-emissie (40-50% t.o.v. basecase).



FIGUUR 12 - SYSTEEMEMISSIE VOOR EEN GEOTHERMIEBRON IN EEN WARMTENETWERK IN STEDELIJKE OMGEVING IN 2030, MET EXTRA UITKOELING. DE RODE LIJN GEEFT DE DOELSTELLING AAN VAN 70% EMISSIE REDUCTIE UIT HET KLIMAATPAKKET, DE BLAUWE LIJN DE NORMSTELLING UIT DE WARMTEWET.



### **Uitkoeling warmtenet door cascadering**

Cascaderen is het zoveel mogelijk benutten van de warmte uit retourwater, door trapsgewijs gebruik te maken van verschillende afnemers. Hier wordt de geothermiebron efficiënter benut omdat de retourtemperatuur lager wordt. Het retourwater van een warmtenet van een (middel)hoge temperatuur van 70 of 90 °C kan (eventueel met bijmenging) gecascadeerd worden naar een lagere-temperatuurnetwerk van 40 °C, bijvoorbeeld van een nieuwbouwwijk. Dit systeem van cascadering is een slimme verbinding tussen hoge- en lage-temperatuur-warmtenetwerken.

### **Warmtenetten op lage temperatuur**

De huidige warmtenetten zijn vaak gedimensioneerd op bronnen waarvan de restwarmte een hoge temperatuur heeft van meer dan 100 °C. Om geothermie als duurzame warmtebron in netwerken te kunnen inpassen, is het belangrijk dat de temperatuur van het netwerk aansluit op die van de bron. Bestaande geothermiebronnen produceren water met een temperatuur tussen 60 en 100 °C. Door woningzijdige maatregelen zoals renovatie en isolatie neemt de warmtevraag af en daalt de gewenste aanvoertemperatuur. Hierdoor past deze beter bij de geothermiebron, en ook bij andere hernieuwbare warmtebronnen zoals zon- en aquathermie.

### **Minimaliseren warmteverliezen distributienetwerk**

Warmteverlies treedt onvermijdelijk op wanneer warm water door leidingen van een distributienetwerk stroomt. De warmteverliezen in een warmtenetwerk zijn het gevolg van meerdere factoren, zoals de lengte en isolatie van de buizen en de temperatuur van het water. Kortere, compactere netten en ook lage-temperatuurnetten hebben relatief lagere warmteverliezen. Een huidig warmtenetwerk heeft 20 tot 30% warmteverlies<sup>14</sup> en specifieke voorbeelden uit Denemarken laten zien dat warmteverliezen beperkt kunnen worden tot 10%<sup>16</sup>. Ook is in de zomer het warmteverlies relatief groot omdat het water in het warmtenetwerk, ondanks de lage vraag naar warmte, rondgepompt moet worden om continuïteit van warmtelevering te kunnen garanderen. Seizoensopslag kan hiervoor een uitkomst bieden.

### **Warmteopslag**

Warmtenetten beschikken vaak al over bovengrondse buffers voor het opslaan van warmte op uurbasis. Seizoensgebonden warmteopslag kan in combinatie met geothermie het aandeel bijstook (pieklast) in een warmtenet helpen verlagen omdat het flexibiliteit creëert binnen het warmtenet. Hoge-temperatuuropslag (HTO) is een duurzame en relatief goedkope vorm van seizoensgebonden warmteopslag, mits de marginale kosten van de warmte die wordt opgeslagen laag zijn<sup>31</sup>. In de zomer wordt overtollige warmte uit de (geothermie)bron opgeslagen in een watervoerende laag in de ondergrond. De warmte wordt in de winter teruggewonnen om de hoeveelheid energie te kunnen leveren die op dat moment nodig is. De resulterende pieklast is dan kleiner. Huidige HTO-systemen hebben een capaciteit van vijf tot tien MW<sub>th</sub>. HTO wordt op dit moment bestudeerd in onderzoeksprojecten als HEATSTORE, WINDOW, en WarmingUP<sup>32</sup>.

---

Geothermie heeft een enorme potentie, zowel voor nieuwe als bestaande warmtenetten. Er ligt nog wel een stevige opgave om de CO<sub>2</sub>-emissies over de totale keten te reduceren. Voor de geothermiebedrijven is dat de bijvangst van aardgas bij exploitatie van aardwarmte. Daarnaast moeten de warmtebedrijven aan de slag met de bijstookwarmte in hun netten, die nu nog vaak gebaseerd is op aardgas. Die bijstook is verantwoordelijk voor het grootste deel van de uitstoot in warmteketens met geothermie. Gelukkig zijn er goede oplossingen beschikbaar om dit aan te pakken. In gezamenlijkheid creëren we dan warmteketens die voldoen aan de doelstellingen van het klimaatakkoord voor 2030. Om natuurlijk uiteindelijk CO<sub>2</sub>-vrij onze woningen en bedrijven van warmte te voorzien.

Herman Exalto, EBN



# 4. CONCLUSIES





## 4. CONCLUSIES

De analyse van de bronemissie van geothermie, waarin rekening is gehouden met de bijvangst, toont aan dat de bijvangst verantwoordelijk is voor 2,2-7,4 kg CO<sub>2</sub> per geproduceerde GJ warmte. Samen met de CO<sub>2</sub>-emissie van de bronpompen komt dit op een totale bronemissie van 4,3-8,6 kg CO<sub>2</sub>/GJ, afhankelijk van het reservoir waaruit wordt geproduceerd. Dit laat zien dat geothermie één van de meest duurzame bronnen van warmte is, maar voorsnog niet CO<sub>2</sub>-vrij. De emissie als gevolg van het elektriciteitsgebruik van de bronpompen valt weg wanneer de elektriciteitsmix volledig duurzaam is. De bijvangst zal echter op een andere manier gemitigeerd moeten worden.

De belangrijkste verduurzamingsopties voor de bijvangst (formatiegas) van de bron zijn:

- het mitigeren van de bijvangst door het in oplossing houden van CO<sub>2</sub> of herinjectie;
- het verbranden van bijvangst en het afvangen van de CO<sub>2</sub>;
- het ontwikkelen van ondiepe geothermiebronnen die geen of minder formatiegas bevatten;
- het leveren van bijvangst aan het gasnet, na het tot Gronings gas kwaliteit te hebben opgewaardeerd. Dit is een tussenoplossing voor de korte termijn.

De analyse van een warmtenet met geothermiebron laat zien dat er op systeemniveau niet zonder meer wordt voldaan aan de eis van 70% reductie zoals gesteld in het Klimaatakkoord. De normstelling in het voorstel Warmtewet van 25 kg CO<sub>2</sub>/GJ wordt echter wel behaald.

De belangrijkste bronnen van CO<sub>2</sub>-emissies in een warmtenet met geothermiebron zijn:

- bijstook (pieklast) van aardgas;
- warmteverliezen in een warmtenet (stoten geen CO<sub>2</sub> uit maar verhogen de CO<sub>2</sub>-emissie van de rest van het systeem);
- emissies gerelateerd aan de bijvangst.

De berekende casussen laten zien dat er naast een duurzame warmtebron meer nodig is om verdere verduurzaming op systeemniveau te realiseren. De belangrijkste verduurzamingsopties voor de warmtenetten zijn het verminderen van de CO<sub>2</sub>-uitstoot gerelateerd aan de bijstook (pieklast) door middel van het inzetten van duurzamere brandstoffen zoals waterstof, biomassa of groen gas. Over de duurzaamheid en inzetbaarheid van deze bronnen is nog discussie en onduidelijkheid. Onderzoek naar de verduurzaming van de bijstook is dan ook een belangrijke aanbeveling die uit deze studie naar voren komt. Andere verduurzamingsopties zoals het verlagen van de retourtemperatuur en warmteopslag kunnen bijdragen aan het optimaliseren van de efficiëntie van het warmtenet. Dit komt de duurzaamheid ervan ten goede. Daarnaast is het minimaliseren van warmteverliezen ook een belangrijke factor waar in onderzoeksprogramma's zoals WarmingUP al veel aandacht aan wordt besteed.

Door de inzet van de verduurzamingsopties zal de kostprijs van de geproduceerde warmte stijgen. Hoewel een aantal van de voorgestelde maatregelen al in de praktijk wordt toegepast is nader onderzoek nodig naar de kosten, veiligheid en acceptatie van deze maatregelen. Ook kan worden gedacht aan het inzetten of aanpassen van stimuleringsmaatregelen (zoals SDE++).

Geothermie is nu al één van de schoonste warmtebronnen voor collectieve netten. Ook is het mogelijk om met behulp van de hierboven beschreven innovatieve maatregelen voor zowel de bron als het warmtenet de CO<sub>2</sub>-uitstoot verder te verlagen en zo een CO<sub>2</sub>-neutraal warmtesysteem te ontwikkelen. Hiermee heeft geothermie de potentie om een belangrijke rol in de warmtetransitie te vervullen.

## › DANKWOORD

Deze studie is tot stand gekomen dankzij medewerking van een groot aantal belanghebbenden, die elk vanuit zijn of haar eigen expertise en organisatie hun visie op dit onderwerp hebben ingebracht.

Onze dank gaat in het bijzonder uit naar Melanie Provoost (SPG) voor de prettige samenwerking en het begeleiden van het proces, Roald Arkesteijn (Eneco) en Anja Jolman (Eneco) voor het meedenken en de waardevolle input en ondersteuning, en Martin van der Hout (DAGO) voor het aanleveren van nuttige data.

Ook bedanken wij graag Wart van Zonneveld (Floricultura), Coen Meijers (DMT), Jan Willem Rösingh (namens HAL), Herman Exalto (EBN), Johan Roeland (Gemeente Zwolle), Reinder Slager (Gemeente Zwolle), Eric Willems (Huygen) en Roald Arkesteijn (Eneco) voor het delen van hun ervaringen in een testimonium of casus.

Ook hartelijk dank aan de leden van de werkgroep 'duurzaamheid berekenen' en de werkgroep 'gebouwde omgeving' van Stichting Platform Geothermie: Remco van Ee (Huisman), Anja Jolman (Eneco), Jan Willem Rösingh (namens HAL), Marco van Soerland (HVC), Robert Crabbendam (HVC), Timme van Melle (EBN), Robert van der Lande (SPG), Arthur Messelink (Engie), Michelle Poorte (Vattenfall), Dyon Noy (Atriensis), Frank Schoof (SPG) en Melanie Provoost (SPG), voor het meedenken en hun bijdrage aan de whitepaper.



## REFERENTIES

1. PBL, TNO, CBS en RIVM (2020). Klimaat- en Energieverkenning 2020, Den Haag, Planbureau voor de Leefomgeving
2. Klimaatakkoord (2019). [www.klimaatakkoord.nl](http://www.klimaatakkoord.nl)
3. Wet collectieve warmtevoorziening (2020), Internetconsultatie, concept regeling <https://www.internetconsultatie.nl/warmtewet2>
4. Kalkman, A. & Menkveld, M. (2018). Warmteladder voor MRA. TNO/ECN.
5. Schepers, B.L. & Scholten, T. (2016). Ketenemissies warmtelevering. CE Delft. Publicatienummer: 16.3H06.06.
6. Greenvis (2020). Inventarisatie duurzaamheid warmtenetten, Normstelling CO2-emissie Wet collectieve Warmtevoorziening
7. RVO (2019, update 2020). Duurzaamheid van warmte- & koudelevering. Voorstel voor inhoud van de rapportageverplichting onder de Warmtewet. Eindrapport versie 3.
8. Rekeningtool - Duurzaamheid geothermie in warmtenetten.
9. Dijkstra & Dinkelman (2020). Technische notitie – Berekening duurzaamheid geothermie in warmtenetten.
10. Confidentiële data Geologische Dienst Nederland, TNO, (2020). De data is geaggregeerd en wordt geanonimiseerd weergegeven.
11. Zijlema (2020). Jaarlijkse update Nederlandse brandstoffenlijst. <https://www.rvo.nl/sites/default/files/2020/03/Nederlandse-energie-dragers-lijst-versie-januari-2020.pdf>
12. RIVM (2017). Toets wettelijke controle affakkelen en afblazen aardgas. Onderzoek voor de implementatie van richtlijn 2013/59/Euratom. RIVM Briefrapport 2017-0114.
13. Heslinga, D. C., & van Harmelen, A. K. (2006). Vaststellingsmethodieken voor CO2-emissiefactoren van aardgas in Nederland. TNO, Apeldoorn, Netherlands.
14. Seegers et al. (2019). Warmtemonitor 2019. <https://www.cbs.nl/nl-nl/achtergrond/2020/35/warmtemonitor-2019>
15. NEN (2015). NEN 7125. Energieprestatienorm voor maatregelen op gebiedsniveau (EMG) – Bepalingsmethode.
16. Nussbaumer, T., & Thalmann, S. (2014). Status report on district heating systems in IEA countries. Swiss Federal Office of Energy, and Verenum, Zürich.
17. Resultaten verkenning organisatie Zwolse warmteketen (2020), Informatie nota voor de raad. <https://www.zwolle.nl/sites/default/files/200930-informatienota-raad-resultaten-verkenning-organisatie-warmteketen-v2.pdf>
18. Voortgang warmtetransitie en geothermie (2019). Informatienota voor de raad. [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjjobuSxoztAhXDyaQKHXEESUQFJAAegQIARAC&url=https%3A%2F%2Fapi1.ibabs.eu%2Fpublicdownload.aspx%3Fsite%3Dzwolle%26id%3D100357371&usg=AOvVaw3E\\_mVwNNDxJz7-qaDKy\\_bR](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjjobuSxoztAhXDyaQKHXEESUQFJAAegQIARAC&url=https%3A%2F%2Fapi1.ibabs.eu%2Fpublicdownload.aspx%3Fsite%3Dzwolle%26id%3D100357371&usg=AOvVaw3E_mVwNNDxJz7-qaDKy_bR)
19. Buscheck, T. A., Bielicki, J. M., Chen, M., Sun, Y., Hao, Y., Edmunds, T. A., & Randolph, J. B. (2014). Integrating CO2 storage with geothermal resources for dispatchable renewable electricity. Energy Procedia, 63, 7619-7630.
20. Miranda-Barbosa, E., Sigfússon, B., Carlsson, J., & Tzimas, E. (2017). Advantages from combining CCS with geothermal energy. Energy Procedia, 114, 6666-6676.
21. HaskoningDHV Nederland B.V. (2020). Warmte uit aardgas of biomassa? Referentie: BH1516I&BRP001F01. [https://www.nvde.nl/wp-content/uploads/2020/03/BH1516I-6-mei\\_def.pdf](https://www.nvde.nl/wp-content/uploads/2020/03/BH1516I-6-mei_def.pdf)
22. DMT (2020), interne berekeningen CAPEX, OPEX opwaarderen formatiegas geothermiebron
23. Bart in 't Groen, Caja De Vries, Harmen Mijnlief en Koen Smekens (2019). Conceptadvies SDE++ 2020 Geothermie, Den Haag: PBL.
24. Diepte kaarten (onshore): diepte van de basis Noordzee Supergroep (N). 2014. <https://www.nlog.nl/dgm-diep-v4-onshore>
25. Wilpshaar, M., de Bruin, G., Versteijlen, N. (2020) Inventory of wells through shallow gas layers in the Dutch North Sea. TNO report | TNO2019 R11562
26. Warmte etiket Eneco (2019). <https://www.eneco.nl/warmte-etiket/>
27. Warmte etiket Vattenfall (2019). <https://www.vattenfall.nl/producten/stadsverwarming/warmte-etiket-2019/>
28. NEN (2020). NTA 8800 (nl). Energieprestatie van gebouwen – Bepalingsmethode
29. PBL (2020). Startanalyse aardgasvrije buurten, herziene versie 8 juni 2020.
30. De Boer et al. (2020). Strengthening Industrial Heat Pump Innovation, decarbonizing Industrial Heat.
31. HEATSTORE (forthcoming). Presentation Work Package 6.3 - New Business Models for UTES. Contact person: Joris Koornneef (TNO).
32. [www.warmingup.info](http://www.warmingup.info)

CONTACT

**Maurice Hanegraaf**

✉ [maurice.hanegraaf@tno.nl](mailto:maurice.hanegraaf@tno.nl)

**TNO** innovation  
for life

**TNO.NL**