



Scenariostudie warmtebronnen Nieuwegein

Rapportage

GREENVIS
ONDERDEEL VAN DE WARMTETRANSITIEMAKERS

Nieuwegein



Wij maken duurzame warmte beschikbaar voor iedereen



Greenvis is onderdeel van
De WarmteTransitieMakers B.V.



Gemeente Nieuwegein
T.a.v. Jeroen Harren

Auteur **Daniël De Greef, Johan Verheij en Max Vroomen**
0628 79 73 83
Daniel.de.greef@dwtm.nl

Datum **05/10/2022**
Gecontroleerd **Onderlinge controle auteurs**
Kenmerk **GV21075**

Samenvatting & Team

Nieuwegein gaat voor op een CO₂-neutrale gemeente in 2040. Voor de deelopgave gebouwde omgeving zullen nieuwe, duurzame warmtebronnen nodig zijn. In deze studie bepalen we de praktische potentie voor een aantal kansrijke warmtebronnen en werken we zes realistische scenario's uit voor de warmtevoorziening van Nieuwegein.

Dat thermische energie uit oppervlaktewater (TEO) en geothermie de grootste potentiële warmtebronnen zijn, bleek uit een broninventarisatie uit 2021 (Greenvis, 2021). In de voor u liggende studie zijn de praktische potenties van TEO en geothermie (500 – 4000m diep) aangescherpt tot een dekkingspercentage van de vraag van ca. 650% en 100%, respectievelijk. Dit wil zeggen dat er ruim voldoende warmtebronnen beschikbaar zijn en dat TEO meer keuzes open laat dan geothermie. Dat neemt niet weg dat er nog steeds complexe keuzes zullen worden gemaakt in de afweging voor energie-installaties tegenover andere ruimtelijke claims.

De totale kosten voor het verduurzamen van de warmte voor de ca. 35.000 woningequivalenten in scope liggen rond de 650-700 mln € eenmalig aan investeringskosten, plus 9 tot 12 mln € jaarlijks aan exploitatiekosten (prijsspeil 2021). Diepe geothermie-installaties vereisen ca. twee keer zoveel ruimte als TEO (1 ha vs 0,6 ha), maar resulteren in 50% minder bijkomende elektravraag (3 vs 6 extra windmolens).

Een volledig CO₂-neutrale warmtevoorziening in 2040 wordt in alle doorgerekende scenario's zonder meer een grote uitdaging. Dat een heldere definitie van "CO₂-neutraal" vooralsnog ontbreekt maakt het onmogelijk om hier de beste concrete oplossing voor te selecteren.

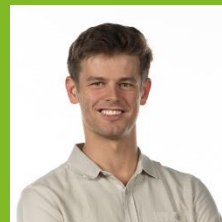
Met de inzichten uit de scenariostudie kunt u een onderbouwd en afgewogen standpunt innemen ten opzichte van warmtebronnen en een bronnenstrategie ontwikkelen voor een CO₂-neutrale gemeente.



Daniël De Greef



Johan Verheij



Max Vroomen

Inhoudsopgave

Inleiding	4	
Leeswijzer		4
Scope van deze studie		4
Praktische potentie warmtebronnen	5	
Restrictie- en beperkingsgebieden		5
Thermische energie uit oppervlaktewater en de WRK leiding		5
Methodiek		5
WRK potentie		7
Resultaten TEO potentie		7
Interpretatie		8
Diepe en ondiepe geothermie		8
Methodiek		8
Resultaten		9
Interpretatie		10
Scenario-analyse warmtebronnen	11	
De scenario's: van beschrijving tot concrete cases		11
Beschrijving scenario's		11
De rol van warmteopslag in de scenario's		13
Scenario-analyse		13
Methodiek		13
Kwantitatieve resultaten		15
Interpretatie		16
Invloed van gemeente		18
Mitigatiemaatregelen voor resterende CO ₂ -uitstoot en hoge elektravraag		19
CO ₂ -uitstoot verder reduceren		19
Elektriciteitsverbruik reduceren		20
Conclusies	21	
Bijlages 0		
Bijlage A: Uitleg van eenheden en afkortingen		0
Bijlage B: Methodiek en uitgangspunten		0
B.1 Methodiek praktische potentie		0
B.2 Methodiek scenariostudie warmtebronnen		2
B.3 Geluidsemissie Industriële warmtepompen		3

Inleiding

Gemeente Nieuwegein bereidt zich voor op het ontwikkelen van duurzame warmtebronnen als alternatief voor aardgas. Van de circa 30.000 woningen is ongeveer de helft gebruiker van het aardgasnet en de andere helft aangesloten op het warmtenet van Eneco, dat momenteel gevoed wordt door aardgas en biomassa. In 2021 heeft de gemeente haar transitievisie warmte opgesteld en is een eerste inventarisatie uitgevoerd om te verkennen wat de technische potentie van warmtebronnen in de gemeente is (Greenvis, 2021).

De vraag is nu: wat zijn werkelijk realistische scenario's voor het benutten van warmtebronnen in Nieuwegein? En wat is de impact van de opties die er zijn op maatschappelijk relevante aspecten zoals betaalbaarheid, ruimtelijke inpasbaarheid en elektriciteitsbehoefte?

In deze scenariostudie beantwoorden we deze vragen in twee trappen.

- Eerst bepalen we van de twee grootste potentiële warmtebronnen de praktische potentie: wat is de potentie als we rekening houden met praktische beperkingen zoals ruimtelijke inpassing en potentie voor warmteopslag? Uit de broninventarisatie blijkt dat Thermische energie uit oppervlaktewater (TEO) en geothermie (aardwarmte) de grootste technische potentie hebben in gemeente Nieuwegein
- Vervolgens onderzoeken we zes scenario's voor warmtebronnen in Nieuwegein: drie verschillende bronnenmixen en twee scenario's voor het bestaande warmtenet ($3 \times 2 = 6$). De drie verschillende bronnenmixen zijn gedefinieerd aan de hand van te optimaliseren beleidsparameters:
 1. Minimaal gebruik van bovengrondse ruimte en aanvullende elektriciteit
 2. Maximale technische zekerheid
 3. Ruime mix van bronnen

Alle scenario's moeten voldoen aan een overkoepelende set van ontwerpeisen die afgestemd is met de gemeente. Tot slot bepalen we de impact van elk scenario op verschillende aspecten door een combinatie van literatuurstudie, data-analyse en rekenmodellen.

Er zullen geen voorkeurslocaties voor bronnen en voorkeursvarianten voor het warmtesysteem aangewezen worden. Dat heeft namelijk te maken met bredere beleidsmatige afwegingen die gemaakt moeten worden.

Leeswijzer

Deze rapportage bestaat dan ook uit twee hoofdstukken: 'Praktische potentie warmtebronnen' en 'Scenario-analyse warmtebronnen'. In elk (sub)hoofdstuk lichten we beknopt de gevolgde methodiek toe (gebruikte informatiebronnen en uitgangspunten) tonen we de resultaten en interpreteren we de resultaten (duiding, nuancering etc.). Op het einde van de rapportage vatten we de belangrijkste conclusies samen.

Naast deze rapportage zijn enkele bijlagen beschikbaar.:

- Bijlage A: 'Uitleg van eenheden en afkortingen'
- Bijlage B: 'Methodiek en uitgangspunten': meer gedetailleerde toelichting op de analysestappen
- Bijlage C: Factsheets scenario's warmtebronnen – Externe pdf bestanden

Scope van deze studie

De scope van deze studie is de warmtevraag van de gebouwde omgeving aan de westkant van het Merwedekanaal, plus de Vreeswijk, minus dun bebouwde gebieden in het noorden (A12-zone) en het westen (Park Oudegein en het IJsselbos). Voor warmtebronnen wordt de hele gemeente en de RWZI in IJsselstein (buiten gemeentegrenzen) meegenomen. De onderbouwing van deze scope is:

- De bedrijven op de bedrijventerreinen vragen een maatwerk aanpak door hun grootte en verschillen.
- Ontwikkelingsgebied Rijnhuizen zal met warmte-koude opslag (WKO) worden verwarmd.
- Dun bebouwde gebieden worden quasi zeker nooit aangesloten op een warmtenet, waardoor het geen zin heeft om ze mee te nemen in een scenariostudie.

De totale jaarlijkse warmtevraag van alle gebouwen in scope in 2040 is na verwachte isolatiemaatregelen: 1.030 TJ

Praktische potentie warmtebronnen

Dit onderzoek bouwt verder op de uitkomsten van een broninventarisatie van Greenvis (2021), waar de technische potentie is bepaald. De technische potentie beschrijft wat er theoretisch mogelijk is. Deze potentie is echter vaak hoger dan wat er in de praktijk haalbaar is. Daarom tracht dit onderzoek de werkelijke 'praktische' potentie te bepalen door rekening te houden met factoren die in de praktijk een relevante invloed op de potentie hebben.

Restrictie- en beperkingsgebieden

Eén van die factoren is de invloed van regels die op bepaalde gebieden van toepassing zijn. In gebieden als drinkwaterwinningzones, grondwaterbescherming zones en boringsvrije zones gelden er bepaalde regels voor boringen. In Natuur Netwerk Nederland, Natura 2000 en Groene Contour-gebieden gelden er restricties tegen bouwen. In onderstaande tabel staat een overzicht van verschillende gebieden en of ze een beperking of een restrictie zijn tegen het ontwikkelen van een bron.

Tabel 1. Invloed van gebieden op realisatie duurzame bronnen

Gebied	TEO	WKO	Geothermie
Drinkwaterwinningzones	-	Restrictie	Restrictie
Grondwaterbescherming zone	-	Restrictie	Restrictie
Boringsvrije zone	-	Beperking	Restrictie
Woongebied/woningen	Beperking	Beperking	Restrictie
Natuur Netwerk Nederland	Beperking	Beperking	Beperking
Natura 2000	Beperking	Restrictie	Restrictie
Groene Contour	Beperking	Restrictie	Restrictie
Wegdelen/bebouwing	Restrictie	Restrictie	Restrictie
Zwemwateren	Restrictie	Beperking	Beperking

Thermische energie uit oppervlaktewater en de WRK leiding

Thermische energie uit oppervlaktewater (TEO) kan in Nieuwegein worden gewonnen uit zichtbare waterlichamen zoals het Merwedekanaal of de Lek. Daarnaast bieden de drie ondergrondse WRK-leidingen die door Nieuwegein lopen potentieel om warmte te onttrekken. Het water in de WRK is afkomstig van de Lek en heeft dus hetzelfde temperatuurprofiel als de Lek zelf. WRK-warmte wordt ook soms geschaard onder TED (Thermische energie uit drinkwater), maar ligt technisch dichterbij TEO dan bij TED.

In een TEO systeem wordt gebruik gemaakt van het oppervlaktewater van een waterlichaam. Water wordt opgepompt, waarna via een warmtewisselaar de warmte wordt afgegeven en vervolgens het afgekoelde water teruggepompt wordt. Aangezien het meeste warmte in de zomer beschikbaar is, wordt de TEO warmte meestal opgeslagen in een seizoensopslag, zoals een warmte-koude opslag (WKO). De warmte kan dan d.m.v. een warmtepomp opgewaardeerd worden, waarna het in het warmtenet gevoerd kan worden.

Methodiek

Om de praktische potentie van TEO in Nieuwegein te bepalen, worden 3 verschillende methodes gebruikt, die hieronder punt per punt worden toegelicht:

1. Potentie a.d.h.v. correctie factor negatieve interferentie
2. Potentie met bovengrondse ruimte beperking
3. Potentie met ondergrondse opslag beperking

Elk van deze methodes bepaalt een limiet aan de praktisch haalbare potentie per waterlichaam en uiteindelijk zal de laagste waarde per waterlichaam bepalend zijn voor de praktische potentie.

Potentie a.d.h.v. correctie factor negatieve interferentie

Het afgekoelde water dat uit een TEO installatie komt, kan invloed hebben op de temperatuur van het water dat opgepompt wordt aan de andere kant van de TEO installatie. Om rekening te houden met deze negatieve interferentie wordt er gerekend met een correctiefactor op basis van watertype afhankelijke aspecten. Om de correctiefactor te kunnen bepalen, kunnen de waterlichamen in en rondom Nieuwegein eerst opgedeeld worden in verschillende types. Hierin wordt onderscheid gemaakt tussen grote- en kleine- waterlichamen en tussen stromende of stilstaande wateren, zie Tabel 2.

Er worden geen meren of plassen meegenomen in deze studie, omdat ze buiten de gemeentegrenzen liggen, ongunstig liggen t.o.v. het onderzoeksgebied of een te lage potentie hebben. Sloten en vijvers worden ook niet meegenomen, omdat deze een te lage potentie bevatten. De definitie van deze categorieën is te vinden in bijlage B.1.1 Methodiek TEO.

Tabel 2. Opdeling van verschillende watertypen. Per watertype wordt beschreven wat de belangrijkste overwegingen zijn.

	Stromend	Stilstaand
Grote kanalen/rivieren	Amsterdam Rijnkanaal en Lek	Merwedekanaal en Lekkanaal
Kleine kanalen/rivieren	Kromme IJssel en Doorslag	Sloten/ vijvers

Voor elk van deze watertypen kunnen correctiefactoren worden bepaald die rekening houden met de praktische inpassing van in- en outlets in het waterlichaam. De gemeente Utrecht heeft een onderzoek voor de Merwedekanaalzone laten uitvoeren¹, waaruit is gebleken dat ongeveer de helft van de technische potentie haalbaar is wanneer er rekening wordt gehouden met negatieve interferentie tussen TEO systemen. Dit geeft een correctiefactor van 0,45 voor grote, stilstaande kanalen. Voor deze scenariostudie leiden we de andere correctiefactoren hiervan af. Een overzicht van de correctiefactoren kan gevonden worden in Tabel 3.

Tabel 3. Correctiefactoren voor negatieve interferentie tussen in- en outlets.

Type water	Correctiefactor
Grote stromende kanalen/rivieren	0,9 ± 11%
Grote stilstaande kanalen/rivieren	0,45 ± 33%
Kleine stromende kanalen/rivieren	0,75 ± 20%

Nadere uitleg over het onderverdelen van de wateren en de keuze voor de correctiefactoren kan gevonden worden in bijlage B.1.1 Methodiek TEO. Bovenstaande correctiefactoren zullen toegepast worden op technische potentie data verkregen uit de potentiekaart voor aquathermie van WarmingUP, opgesteld door Deltares (peiljaar 2022). De resultaten kunnen gevonden worden in Tabel 10.

Potentie met bovengrondse ruimte beperking

Oppervlaktewater dat onttrokken wordt in een TEO systeem is nog steeds op lage temperatuur en moet daarom opgewaardeerd worden middels een warmtepomp, voordat het in het warmtenet met 80 graden gevoed kan worden. Een warmtepomp centrale heeft een behoorlijke oppervlakte nodig en er moet daarom gekeken worden of hiervoor bovengrondse ruimte beschikbaar is. Tevens moet er op gelet worden dat TEO in- en outlets ver genoeg uit elkaar staan om negatieve interferentie te voorkomen. Op basis van deze criteria zijn handmatig locaties aangewezen op de kaart waar bovengrondse ruimte is voor een warmtepomp. Zoals in de inleiding toegelicht tonen we geen locaties in deze rapportage, maar zijn ze enkel gebruikt als tussenstap voor de analyses.

¹ Merwedekanaalzone, Inventarisatie ontwikkelingen en potentieelstudie aquathermie – IF Technology 2021

Voor grote stromende wateren is er gekozen voor een warmtepomp met maximaal vermogen op basis van het toelaatbaar lozingsdebiet². Voor kleinere wateren is er gekozen voor een warmtepomp van 6 MW.

Potentie met ondergrondse opslag beperking

Een TEO systeem zal gebruikt worden in combinatie met een warmte-koude opslag (WKO) systeem om de energie in de zomer op te slaan en in de winter te gebruiken. Er bestaat echter een limiet aan de potentie van een WKO systeem om energie op te slaan.

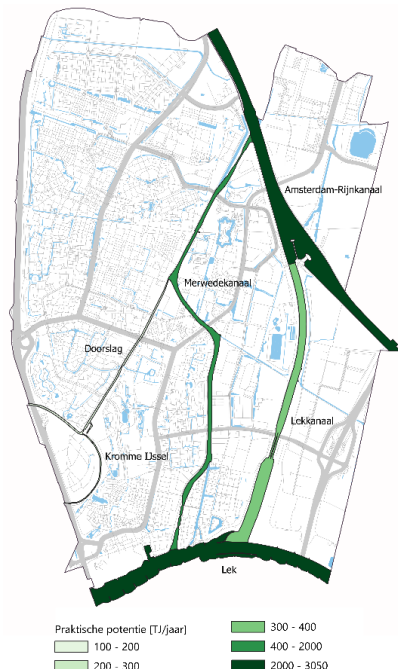
Deze limiet wordt bepaald door hoe diep er geboord mag worden, de doorlatendheid van verschillende watervoerende pakketten en de thermische invloedssfeer. Er is daarom gekeken waar boringsvrije zones zijn, tot welk watervoerend pakket er geboord mag worden en of er genoeg ondergrondse ruimte is nabij de wateren om de energie in op te slaan.

WRK potentie

De leidingen van de Watertransportmaatschappij Rijn-Kennemerland (kortweg de WRK-leidingen) zijn leidingen die water uit het Lekkanaal naar de duinen in Noord Holland pompen. Dit is een groot debiet en dus een groot potentieel vermogen. Het water mag bij aankomst in de duinen maximaal 1 graden Celsius zijn afgekoeld t.o.v. het pompstation in Nieuwegein. De WRK-leidingen lopen door verschillende gemeentes. Er is nog geen officieel besluit genomen over de verdeling van de energie over deze gemeentes. Dit onderzoek is uitgegaan van een gelijke verdeling: elke gemeente evenveel warmte. Voor de berekening van de potentie in de WRK-leiding, zie B.1.2 Methodiek WRK.

Resultaten TEO potentie

Een overzicht van de WKO opslag potentie per waterlichaam plus een aandeel aan directe onttrekking kan worden gevonden in Tabel 10 in de bijlage. De resultaten van de vorige stappen hebben geleid tot een praktische potentie die gevonden kan worden in Tabel 4.



Tabel 4. Overzichtstabel praktische potentie per waterlichaam³

	Totaal [TJ/jaar]
Grote wateren (stilstaand)	
Merwedekanaal	400
Lekkanaal	300
Grote wateren (stromend)	
Amsterdam-Rijnkanaal	2450
Lek	3050
Kleine wateren (stromend)	
Doorslag	100
Kromme IJssel	200
WRK-leiding	60
Totaal	6560

Figuur 1. Overzicht van praktische potentie per waterlichaam

² Kader voor vergunningverlening – STOWA 2021

³ Voor een overzichtstabel van de praktische potentie volgend uit elke stap, zie bijlage B.1.1 Methodiek TEO.

Interpretatie

TEO

Uit de resultaten blijkt dat er genoeg TEO potentie is om de warmtevraag van Nieuwegein te dekken. Het dekkingspercentage van de potentie is ca. 650%. Deze potentie zit vooral in het Amsterdam-Rijnkanaal en de Lek, de grote stromende wateren. Dit is gunstig, omdat de in- en outlets, de WKO's en de warmtepomp centrale dan op één plek gebouwd kunnen worden. De locatie nabij het Amsterdam-Rijnkanaal is met name gunstig, omdat dit dichtbij het warmteoverdrachtstation (WOS) van het bestaande warmtenet ligt.

We maken nog drie nuanceringen bij de potentie van TEO in Nieuwegein:

- Het Amsterdam-Rijnkanaal en de Lek zijn 'bijna onuitputbare bronnen', die meerdere gemeenten kunnen benutten. Voor de kleinere wateren is de potentie zodanig laag dat de warmte hieruit maar op één plaats gewonnen kan worden. Voor het gebruiken van de warmte uit minder grote wateren zoals de Kromme IJssel is dus goede afstemming nodig met andere potentiële afnemers, bijvoorbeeld via de RES.
- In de situatie dat het bestaande warmtenet niet wordt uitgebreid is het niet mogelijk om de Lek als bron voor het gehele warmtenet te gebruiken. Dit komt doordat de bestaande leidingen in Nieuwegein Zuid in relatief kleine diameters zijn aangelegd. Wanneer het warmtenet niet wordt uitgebreid is de praktische potentie inschatting van de Lek dus te hoog. Wanneer het warmtenet in Nieuwegein Zuid wel wordt uitgebreid en in het netontwerp rekening gehouden wordt met de bronnen dan kan al het basisbronvermogen uit de Lek worden gehaald. Mogelijk moet hiervoor wel een deel van de leiding langs de 's Gravenhoutseweg worden verzwaaard/worden uitgebreid met een nieuwe parallelle leiding.
- De resultaten zijn gebaseerd op andere onderzoeksrapporten, voorbeelden in de praktijk, regelgeving en openbare data. De daadwerkelijke potentie zal locatie-specifiek bepaald moeten worden door verder onderzoek naar de inpassing van een TEO en WKO systeem te doen. De resultaten die hier gepresenteerd zijn, zijn een indicatie van wat er praktisch haalbaar is.

WRK-leiding

De potentie van de WRK-leiding is nog zeer onzeker. Dit is omdat er nog definitief beslist moet worden hoe de energie verdeelt mag worden en wat de maximale temperatuurverschil mag zijn na onttrekking. De resulterende waarde is een conservatieve ondergrens. Wanneer het maximale toegelaten temperatuurverschil groter uitvalt, zal de potentie groter worden.

De potentie van de WRK-leiding is klein vergeleken met die van de TEO-systemen. Het voordeel is dat het water al is gefilterd bij de Lek, waardoor de investeringskosten van een onttrekkingsinstallatie lager uitvallen dan bij TEO.

De WRK-leidingen pompen water weg van de Lek. Het risico bestaat dat het debiet in de toekomst aanzienlijk verlaagd wordt bij lage waterstanden.

Diepe en ondiepe geothermie

Geothermie is een vorm van warmtewinning waar diep in de aarde wordt geboord om tot watervoerende pakketten te komen die een hoge temperatuur hebben. Des te dieper men boort, des te hoger de temperatuur wordt. Voor deze studie is gekeken naar ondiepe en diepe geothermie. Voor deze technieken wordt er respectievelijk van 500 tot 1500 meter (ondiepe geothermie) en van 1500 tot 4000 meter diep (diepe geothermie) geboord.

Methodiek

Om de potentie van geothermie te bepalen moet er naar het volgende gekeken worden:

1. Beperking- en restrictiegebieden
2. Thermische potentie in de ondergrond
3. Beschikbare bovengrondse ruimte
4. De thermische invloedssfeer

Beperking- en restrictiegebieden

Er zijn enkele gebieden waar niet geboord *kan* worden vanwege onvoldoende bovengrondse ruimte of waar niet geboord *mag* worden vanwege het verstoren van de ondergrond. Hieronder vallen bebouwing & wegdelen, boringsvrije zones, grondwaterbeschermingszones, drinkwaterwinning zones en woongebieden. Er zijn ook richtlijnen die staan in het Afwegingskader Aardwarmte van gemeente Nieuwegein die bepalen dat een boring voor geothermie minstens 200 meter van de dichtstbijzijnde woning moet zijn.

Thermische potentie in de ondergrond

Hoe de ondergrond eruit ziet verschilt sterk per locatie in Nederland. De opmaak van de ondergrond bepaalt tot waar het zin heeft om te boren, hoe warm het water is en hoe doorlatend de watervoerende pakketten daar zijn. In een onderzoek van Panterra⁴ staat een overzicht van hoe veel thermisch vermogen er in welke gebieden in de provincie Utrecht gewonnen kan worden.

Voor diepe geothermie is er gekozen voor gebieden waar in het beste geval meer dan 5 MW_{th} vermogen per doublet gewonnen kan worden. Een lager vermogen dan dit is voor een diep geothermie doublet niet rendabel.

Voor ondiepe geothermie is een dergelijke kaart niet beschikbaar. De potentie van ondiepe geothermie in Nieuwegein is erg onzeker. EBN heeft in een gesprek met ons aangegeven dat het verwachte vermogen voor ondiepe geothermie tussen 0,3 en 3 MW_{th} ligt. Wij hebben in deze studie een doublet vermogen van 2,5 MW_{th} aangenomen.

Beschikbare bovengrondse ruimte

Tijdens het boren van een geothermie put komt er veel (vervuild) water en zand en steen residu vrij. Er is genoeg bovengrondse ruimte nodig om dit te kunnen deponeren, voordat het weg getransporteerd wordt. Na de realisatie van de put is er nog ruimte nodig voor ingangen van de putten en een techniek gebouw waar de pompen en eventuele warmtepomp (bij ondiepe geothermie) in staan.

De thermische invloedssfeer

In een geothermie doublet pompt warm water omhoog en koud water omlaag. In de loop van tijd zal dit koude water zich mengen door het watervoerend pakket en het omgevende water afkoelen. Om interferentie met de te voorkomen, moet er genoeg afstand tussen de productie- en injectieputten zijn.

Op basis van verschillende studies^{5,6,7} is er gekozen voor de volgende uitgangspunten: voor diepe geothermie geldt 1200 meter tussen de productie- en injectieputten en 800 meter tussen doubletten. Voor ondiepe geothermie moet er 1000 meter tussen de productie- en injectieputten en 800 meter tussen doubletten zijn.

Resultaten

Tabel 5 toont de praktische potentie van geothermie in Nieuwegein, rekening houdend met bovenstaande aandachtspunten. Per geothermie variant (diep en ondiep) is gekeken hoeveel doubletten er ruimtelijk kunnen worden ingepast en wat de jaarproductie per doublet kan zijn. Er worden in dit rapport geen locaties op de kaart getoond omdat het doel van deze studie is om de totale praktische potentie voor de gemeente te bepalen, niet om (zoekgebieden voor) locaties aan te wijzen.

Tabel 5. Overzicht van de praktische potentie van geothermie

⁴ Geothermie potentie provincie Utrecht – Onderzoek Panterra

⁵ Aardwarmte in Nederland – A. Lokhorst 2020

⁶ An evaluation of interferences in heat production from low enthalpy geothermal doublets systems – Willems, C. J., et al.

⁷ Potentieel geothermie in Zuid -Holland, Toelichting potentieelkaarten geothermie – Buik, N., et al.

	Aantal doubletten	Energie [TJ/jaar]
Ondiepe geothermie	5	380
Diepe geothermie	4	610
Totaal	9	990

Interpretatie

In Tabel 5 staan de resultaten van het praktische potentie onderzoek van geothermie. Te zien is dat de potentie van diepe geothermie voldoende is om aan de energiebehoefte van het huidige warmtenet te voldoen. De combinatie van diepe en ondiepe geothermie is bijna voldoende om een volledig uitgebreid warmtenet in de scope te voorzien van warmte.

Bij geothermie zijn er echter grote onzekerheden; er is weinig lokale kennis over de diepe ondergrond in Nieuwegein. Daarom zal er eerst een proefboring gedaan moeten worden om meer zekerheid te krijgen en de daadwerkelijke potentie te weten te komen.

Het haalbaar vermogen van ondiepe geothermie varieert sterk van techniek tot techniek. Er zijn innovatieve technieken met (deels) horizontale boringen waarvan wordt geclaimd dat ze een hoger vermogen kunnen produceren dan bij conventionele verticale boringen. Van deze technieken zijn er echter nog geen voorbeelden in Nederland gerealiseerd, daarom is het vermogen gebaseerd op wat al bewezen is in de praktijk in Nederland.

Bij diepe geothermie liggen de uiteindes van de productie- en injectieput ondergronds ver uit elkaar. Daarom is het mogelijk om twee doubletten op één boorlocatie te plaatsen. Als de verschillende productie- en injectieputten 90 graden t.o.v. elkaar gedraaid zijn zal er geen negatieve interferentie optreden. Dit houdt in dat er voor 4 doubletten maar 2 boorlocaties nodig zijn.

Scenario-analyse warmtebronnen

De scenario's: van beschrijving tot concrete cases

In deze studie zijn in totaal 6 verschillende scenario's uitgewerkt. Ieder scenario beschrijft een ander toekomstbeeld van een duurzaam verwarmd Nieuwegein. De scenario's zijn opgesteld aan de hand van verschillende beleidskeuzes. In onderstaande tabel is een overzicht te vinden van de scenario's. Onder de tabel volgt per scenario een toelichting van hoe het scenario concreet is ingevuld.

Tabel 6. Overzicht scenario's doorgerekend in deze studie

Scope warmtenet Beleidskeuze	Huidige scope	Maximale uitbreiding
Minimaal gebruik van bovengrondse ruimte en aanvullende elektriciteit	Scenario 1A	Scenario 1B
Maximale technische zekerheid	Scenario 2A	Scenario 2B
Ruime mix van bronnen	Scenario 3A	Scenario 3B

In de 'A' scenario's blijft het bestaande warmtenet in Nieuwegein behouden, maar wordt niet uitgebreid. Voor de woningen die nu nog niet op een warmtenet zijn aangesloten wordt in de analyse uitgegaan van een individuele warmtepomp per adres of gebouw. Hierbij wordt een verhouding van 50% luchtwarmtepompen en 50% bodemwarmtepompen gehanteerd.

In de 'B' scenario's wordt het bestaande warmtenet maximaal uitgebreid. Dat wil zeggen dat alle woningen binnen de scope van dit onderzoek worden aangesloten op het warmtenet.

De werkelijkheid zal waarschijnlijk tussen deze scenario's in komen te liggen: het is aannemelijk dat het warmtenet nog uitbreidt, maar het is lang niet zeker dat dat de maximale uitbreiding van scenario's B zal zijn. Ook is het denkbaar dat er 'losse' kleinere warmtenetten ontwikkeld worden met lokale warmtebronnen in de gebieden die nu nog met aardgas verwarmd worden.

Per scenario worden gezocht naar een mix van duurzame warmtebronnen passend bij de beleidskeuze en waarvan de opgetelde praktische potenties groot genoeg zijn voor het (eventueel uitgebreide) warmtenet. Voor de piekopwek in het warmtenet wordt uitgegaan van een ketel op groengas, zodat het eindbeeld in 2040 aardgasvrij kan zijn.

Hieronder bespreken we per scenario welke collectieve warmtebronnen worden ingezet. Bij het selecteren van de bronnen is gebruik gemaakt van de longlist van alle bronnen die te vinden is in B.2.1 Longlist warmtebronnen. De potentie van restwarmte is onbekend en waarschijnlijk erg laag. Daarom is in geen van de scenario's uitgegaan van de inzet van restwarmte.

Beschrijving scenario's

Scenario 1A

In dit scenario wordt ingezet op zo min mogelijk bovengronds ruimtebeslag en zo min mogelijk aanvullende elektriciteitsvraag. Bij het toepassen van aquathermie of een collectieve warmtepomp is veel extra elektriciteit nodig, alle vormen van aquathermie en collectieve warmtepompen vallen daarom af voor dit scenario. Voor zon op veld is erg veel bovengrondse ruimte nodig, deze bron valt daarom af in dit scenario. Voor ondiepe geothermie is veel meer extra elektriciteit nodig dan voor diepe geothermie.

In dit scenario gaan we daarom uit van maximale inzet op geothermie. De praktische potentie van diepe geothermie is groter dan de warmtevraag van het bestaande warmtenet. De enige basisbron in dit scenario is daarom diepe geothermie.

Scenario 1B

Dit scenario is een uitbreiding van het vorige scenario. In dit scenario wordt alle praktische potentie van diepe geothermie ingezet. Daarmee kan nog niet voldoende warmte worden geproduceerd voor een maximale uitbreiding van het warmtenet. Na diepe geothermie is aquathermie de bron die het beste scoort op de criteria in dit scenario. De inzet van thermische energie uit afvalwater (TEA) van RWZI Nieuwegein zorgt voor net iets minder extra elektravraag dan de inzet van thermische energie uit oppervlaktewater (TEO). Daarom wordt naast diepe geothermie ook TEA ingezet. Dan is er nog niet genoeg praktische potentie; het laatste deel wordt ingevuld met TEO.

Scenario 2A

In dit scenario wordt ingezet op maximale technische zekerheid. Er is nog weinig bekend over de ondergrond in Nieuwegein. Deze bron is daardoor nog erg onzeker en valt in dit scenario af. De inzet van grote collectieve lucht- of bodemwarmtepompen voor een warmtenet van > 1000 woningen is in Nederland nog niet toegepast en daarmee ook niet technisch zeker. Aquathermie is al op meerdere plaatsen toegepast, en ook vaker toegepast dan zonthermie. In dit scenario wordt daarom ingezet op aquathermie. Van aquathermie is de warmte uit de WRK leiding het minst zeker, deze optie valt daarom af. De RWZI Nieuwegein ligt ongunstig t.o.v. het bestaande warmtenet in Nieuwegein, daarom valt TEA ook af als bron. In dit scenario wordt daarom volledig ingezet op TEO.

Scenario 2B

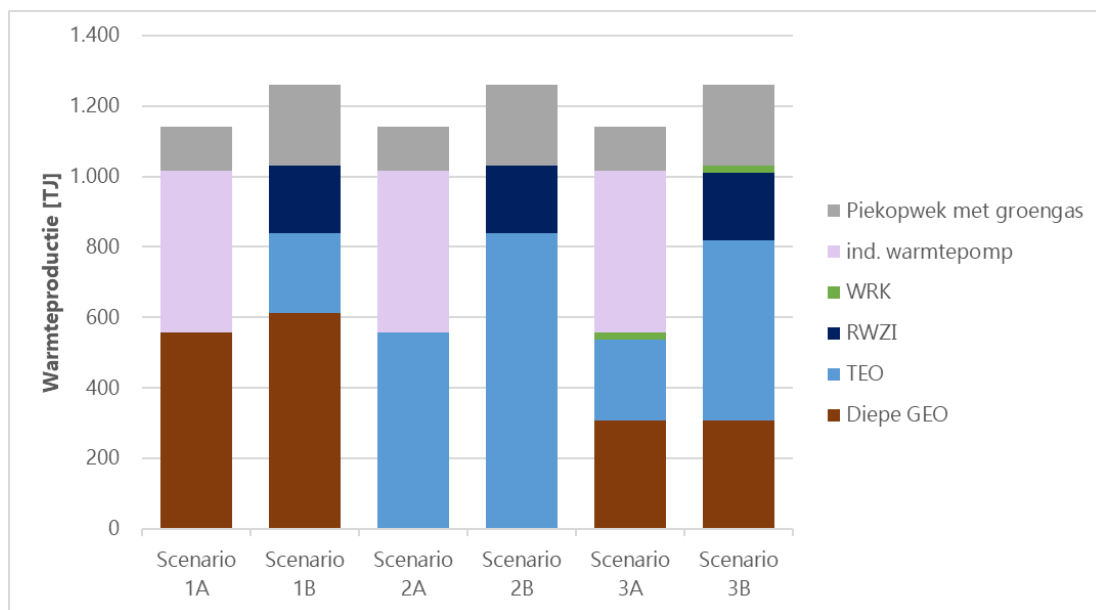
Dit scenario is een uitbreiding van het vorige scenario. Omdat het warmtenet maximaal wordt uitgebreid is de locatie van RWZI Nieuwegein een stuk gunstiger. Deze bron wordt in dit scenario dan ook ingezet. De rest van de benodigde warmte wordt uit TEO gehaald.

Scenario 3A

In dit scenario wordt ingezet op een ruime mix van bronnen. Er wordt ervan uitgegaan dat de helft van de geothermie potentie kan worden gerealiseerd. Daarnaast wordt de potentie van thermische energie uit de WRK leidingen ingezet. De RWZI Nieuwegein ligt ongunstig t.o.v. het bestaande warmtenet in Nieuwegein, daarom wordt deze bron niet ingezet in dit scenario. De bovengrondse impact en de zeer beperkte ruimte binnen de gemeentegrenzen maken de inzet van grootschalige zonthermie onwaarschijnlijk. TEO wordt daarom ingezet om de resterende warmtevraag in te vullen.

Scenario 3B

Dit scenario is een uitbreiding van het vorige scenario. Omdat het warmtenet maximaal wordt uitgebreid is de locatie van RWZI Nieuwegein een stuk gunstiger. Deze bron wordt in dit scenario dan ook ingezet. De rest van de bronnen is hetzelfde als in het vorige scenario. Ook hier wordt dus uitgegaan dat de helft van de geothermie potentie kan worden gerealiseerd. Daarnaast wordt de praktische potentie van de WRK leiding ingezet. TEO levert tenslotte de resterende benodigde warmte.



Figuur 2. Overzicht inzet warmtebronnen voor de zes geanalyseerde scenario's. In de B-scenario's is zichtbaar dat er meer warmte nodig is door warmteverlies in de leidingen van het warmtenet.

De rol van warmteopslag in de scenario's

Zoals in de broninventarisatie van Greenvis (2021) beschreven, zijn er veel verschillende vormen van warmte-opslag, zoals dag-nacht buffers en seizoensopslag. Dag-nacht buffers zijn relatief kleine investeringen die het rendement en de duurzaamheid van een geheel warmtenet rendabel kunnen verbeteren. Deze zijn niet expliciet opgenomen in de scenario-doorrekening, maar zouden ook geen groot effect hebben op het totaalplaatje.

Seizoensopslag voorzieningen zijn veel grotere investeringen en worden niet in alle warmtenetten opgenomen. De businesscase ervoor kan positief zijn, maar dat is erg situatiespecifiek en niet in algemene zin te voorspellen. Deze specifieke businesscase is voor Nieuwegein niet gemaakt in deze studie. Wel is warmte-koude-opslag (WKO) als seizoensopslag meegenomen in de scenario's met TEO, omdat dit gangbaar is en bijna altijd een duidelijk positief effect heeft op het rendement en de potentie van de bron. Bij geothermie kan seizoensopslag rendabel zijn, maar dit is minder gangbaar en moet case specifiek afgewogen worden.

Scenario-analyse

Methodiek

In deze paragraaf beschrijven we hoe de analyse is uitgevoerd om tot de resultaten te komen die zijn weergegeven in de resultaten matrix (

Tabel 7). In bijlage B.2.2 Uitgangspunten scenario-analyse is een lijst te vinden met de gehanteerde uitgangspunten.

Warmtevraag

Als eerste hebben wij een inschatting gemaakt voor de warmtevraag van alle panden binnen de scope. Hiervoor hebben wij een zelf ontwikkelde tool gebruikt. Met deze tool wordt de warmtevraag per pand berekend. Hiervoor worden kengetallen gebruikt die zijn gebaseerd op een analyse van PBL en gasverbruik data van het CBS. Als input voor de tool is de Basisregistratie Adressen en Gebouwen (BAG) gebruikt.

We zijn er in onze analyse vanuit gegaan dat in het eindbeeld alle woningen binnen de scope naar label B of beter worden geïsoleerd (dit is ruwweg in lijn met de nationale isolatiestandaard). Hierdoor is de warmtevraag waar wij mee hebben gerekend in de analyse lager dan de huidige warmtevraag.

Vervolgens is een correctie toegepast op de warmtevraag voor bestaande WKO installaties. Op basis van data in de WKO tool (www.wkotool.nl) hebben wij ingeschat dat minimaal circa 50 TJ van de totale warmtevraag al verduurzaamd is door grote WKO installaties. In de praktijk is dit wellicht meer, maar het niet te achterhalen om welke gebouwen het gaat, waardoor we dit conservatief hebben ingeschat. De totale warmtevraag voor alle panden binnen de scope komt uit op 1.030 TJ; hiervan valt 558 TJ binnen het bestaande warmtenet van Eneco.

Ontwerp warmtenet

Als tweede stap in de analyse hebben wij een warmtenet ontwerp gemaakt voor het deel van de panden dat nog niet is aangesloten op het bestaande warmtenet. Voor het tracé van het warmtenet hebben wij het bestaande stratennetwerk gevolgd (zoals geregistreerd in Open Street Maps).

De lengte van dit warmtenet ontwerp is gebruikt om een kostenraming te maken van de uitbreiding van het warmtenet voor alle 'B' scenario's. Voor de 'A' scenario's is aangenomen dat de lengte van het elektriciteitsnet dat verzwakt moet worden gelijk is aan de lengte van dit warmtenet tracé. Ook voor het verzwaken van het elektriciteitsnet zijn de kosten geraamd. Hiervoor is alleen gekeken naar het laagspanningsnet in de wijk, dus niet naar de trafostations en midden- en hoogspanningsleidingen.

Per scenario is de afstand van de bronnen tot het warmtenet bepaald. De diameter van deze 'bronleiding' is berekend aan de hand van het vermogen van de bron. De kosten van de bronleiding zijn ook meegenomen in de kostenraming.

Vervolgens is met de ingeschatte warmtevraag en het ontwerp van het warmtenet een doorrekening gemaakt in de WarmteTool. Dit is een in-house ontwikkelde tool waarmee alle verschillende scenario's naast elkaar doorgerekend kunnen worden. In deze tool worden de CO₂-reductie, extra elektravraag en alle kosten berekend. Hieronder worden de belangrijkste aannames per onderdeel benoemd.

CO₂-reductie nu, 2030, 2040

Voor de benodigde elektriciteit is uitgegaan van de CO₂ uitstoot van grijze elektriciteit zoals gerapporteerd in de klimaat en energieverkenning (KEV). In de KEV is een prognose tot 2030 opgenomen; voor 2040 is uitgegaan van de helft van de uitstoot in 2030 (zodat deze bij extrapolatie op 0 uitkomt in 2050).

Bij geothermie treedt vaak gasbijvangst op. Deze gas bijvangst zorgt voor een CO₂ uitstoot van 5 kg per gewonnen GJ. Voor de piekopwek in het warmtenet wordt uitgegaan van een ketel op groengas. We nemen aan dat de CO₂ uitstoot van de groengasketel nul is.

Ruimtebeslag tijdens realisatie en exploitatie

Voor het ruimtebeslag is alleen gekeken naar de ruimte die nodig is voor de collectieve warmtebron, en eventuele warmteopslag en warmtepomp. Hierin is dus niet de ruimte (impact) meegenomen voor een warmtenet, voor het opwekken van de extra benodigde elektriciteitsopwekking en ook niet de benodigde ruimte in de panden.

Voor het bepalen van het ruimtebeslag per bron hebben we verschillende literatuurbronnen en voorbeelden van bestaande installaties gebruikt.

Extra elektravraag

In de analyse is alle elektriciteit berekend die nodig is om de warmte op te wekken, op te waarderen en te transporteren. Voor de individuele oplossingen is ook de elektriciteit berekend die nodig is om de warmtepomp aan te drijven.

De extra elektravraag is vervolgens omgerekend naar aantal windmolens. Hiervoor is de standaard windmolen uit de RES U16 gebruikt, deze windmolen produceert 15.000 MWh per jaar.

Realisatietijd vanuit technische complexiteit

We geven een indicatie van de realisatietijd van de warmtebron plus de transportleiding tot aan het warmtenet. Wat hier wel onder valt zijn de voorfase (vooronderzoek en/of engineering) en de realisatiefase (bouw en/of aanleg). Wat hier niet onder valt is het eerste verkenningstraject (de duur hiervan kan erg uiteenlopen en hangt niet enkel af van de complexiteit van de bron), het traject rondom financiering, subsidiëring, aanbestedingstrajecten, vergunningstrajecten en de contractering van afnemers.

De technische scope is de warmtebron, warmteopslag zoals WKO, infrastructuur bij de bron en tussen bron en warmtenet. Buiten technische scope is de aanleg van de nieuwe wijknetten die nodig zijn in de B-scenario's omdat dit wellicht de langst durende factor zou zijn en de resultaten zou vertroebelen.

Voor ieder scenario is per technische component een inschatting gemaakt van de doorlooptijd van de voorfase en realisatiefase op basis van literatuurwaarden en ervaringsgetallen van Greenvis. We gaan ervan uit dat componenten parallel aan elkaar ontwikkeld kunnen worden (bijvoorbeeld boren naar geothermie kan tegelijkertijd met het aanleggen van een transportleiding naar het warmtenet). Daarom is de totale realisatietijd van het scenario gelijk aan de realisatietijd van de technische component met de langste realisatietijd.

Totale nationale investeringskosten & Totale operationele kosten

Per scenario is een integrale kostenraming gemaakt voor de investeringsopgave van alle componenten van het nieuwe warmtesysteem en de aanpassingen die nodig zijn aan de gebouwen. Deze kostenraming is gemaakt met prijspeil 2021. Vervolgens zijn ook alle operationele kosten berekend om het systeem draaiend te houden en de benodigde warmte te produceren, ook met prijspeil 2021. Een aandachtspunt is dus dat de energietarieven dus intussen flink achterhaald zijn.

De kosten voor de instandhouding van het bestaande warmtenet zijn buiten scope gelaten. Bij de kosten is steeds gekeken naar nationale kosten, zonder verdiscontering van toekomstige kosten. Hierin zijn belastingen, subsidies en winsten niet meegenomen.

Kwantitatieve resultaten

In de tabel hieronder zijn de resultaten van de scenario analyse voor alle 6 scenario's weergegeven. Deze resultaten worden ook in de factsheets (aparte Bijlage B) overzichtelijk per scenario gepresenteerd.

Tabel 7. Resultaten matrix scenario analyse

Scenario	1A	1B	2A	2B	3A	3B
Scope warmtenet	Huidig	100% uitbreiding	Huidig	100% uitbreiding	Huidig	100% uitbreiding
Inzet bronnen [TJ]	Diepe GEO (558 TJ), Groengaspijk (125 TJ), ind. lucht warmtepomp (458 TJ)	Diepe GEO (612 TJ), TEO (226 TJ), RWZI (192 TJ), Groengaspijk (230 TJ)	TEO (558 TJ), Groengaspijk (125 TJ), ind. lucht warmtepomp (458 TJ)	TEO (838 TJ), RWZI (192 TJ), Groengaspijk (230 TJ)	Diepe GEO (306 TJ), TEO (232 TJ), WRK leiding (20 TJ), Groengaspijk (125 TJ), ind. lucht warmtepomp (458 TJ)	TEO (512 TJ), Diepe GEO (306 TJ), RWZI (192 TJ), WRK leiding (20 TJ), Groengaspijk (230 TJ)
Totale warmtevraag gebouwen [TJ]	1.016	1.030	1.016	1.030	1.016	1.030
warmtenet / individueel	558 / 458	1.030 / -	558 / 458	1.030 / -	558 / 458	1.030 / -
Woningen op warmtenet / individueel	16.400 / 13.100	29.500 / -	16.400 / 13.100	29.500 / -	16.400 / 13.100	29.500 / -
CO2 reductie nu	61%	49%	47%	41%	61%	55%
CO2 reductie 2030	84%	78%	85%	84%	88%	86%
CO2 reductie 2040	88%	84%	93%	92%	93%	92%
Ruimtebeslag realisatie [m2]	18.200	23.900	5.200	9.600	12.400	16.800
Ruimtebeslag exploitatie [m2]	7.300	10.600	3.500	6.400	5.600	8.500
Extra elektravraag [MWh]	38.600	43.900	85.400	95.200	59.800	69.500
warmtenet / individueel	3.300 / 35.300	43.900 / -	50.100 / 35.300	95.200 / -	24.500 / 35.300	69.500 / -
Extra elektravraag in windmolens (van 5,6MW)	2,6	2,9	5,7	6,3	4,0	4,6
Realisatietijd, excl. nieuwe wijknetten [jaar]	14	14	4	5	9	9
Dominante component (langste realisatietijd)	Geothermie	Geothermie	TEO	TEO	Geothermie	Geothermie
Voorfase / realisatiefase dominante component	12,0 / 2,4	12,0 / 2,4	0,8 / 3,3	0,8 / 4,7	7,5 / 1,5	7,5 / 1,5
Totale nationale investeringskosten [mln €]	695	673	679	646	688	661
bronnen	58	83	29	52	45	67
infrastructuur	33	222	46	226	39	226
gebouwschil	395	330	395	330	395	330
warmtenet / individueel	155 / 240	330 / -	155 / 240	330 / -	155 / 240	330 / -
gebouwinstallatie	209	38	209	38	209	38
warmtenet / individueel	- / 209	38 / -	- / 209	38 / -	- / 209	38 / -
Totale operationele kosten per jaar [mln €]	9,2	11,6	10,3	12,6	9,7	12,1
voor warmtenet en bronnen	2,9	6,7	0,9	4,4	2	5,6
voor gebouwinstallaties	2,7	-	2,7	-	2,7	-
energiekosten (incl. vastrecht)	3,6	4,9	6,7	8,2	5	6,5

Interpretatie

In de resultaten is te zien dat in geen van de scenario's de **CO₂ uitstoot** in 2040 met 100% is gereduceerd. Dit komt doordat in alle scenario's elektriciteit nodig is en in de berekening is aangenomen dat de elektriciteit in 2040 nog voor een deel grijs is. Daarnaast is er bij de scenario's met geothermie een deel gasbijvangst. Dit zorgt ook nog voor een deel CO₂ uitstoot. In sectie Mitigatiemaatregelen voor gaan we hier verder op in.

In het **ruimtebeslag** zien we dat de 'B' scenario's altijd meer vierkante meters nodig hebben dan de 'A' scenario's. Dit komt omdat bij het ruimtebeslag alleen gekeken is naar de ruimte die nodig is voor de collectieve bronnen. Hierin is de benodigde ruimte voor individuele warmtepompen in de woningen dus niet meegenomen. Bij diepe geothermie zien we een groot verschil tussen de benodigde ruimte tijdens de realisatie en exploitatie. Dit komt met name door de grote opvangbassins die nodig zijn voor het opvangen van het omhoog gepompte water tijdens de realisatie.

Voor de **locatie** van een diepe geothermie bron zijn er maar een beperkt aantal keuzemogelijkheden. Deze mogelijkheden liggen meestal wel buiten de woonwijken. Op deze locatie moet dus wel voldoende ruimte beschikbaar zijn; circa 0,2 hectare per bron. Voor TEO is een grote warmtepompinstallatie nodig. De locatie hiervan moet in de buurt zijn van het waterlichaam waar de warmte uit gewonnen wordt. Daarnaast zijn er voor TEO ondergrondse opslag systemen (WKO's) nodig om warmte in op te slaan. Voor een grote TEO installatie zijn er zo'n

10-20 van deze WKO's nodig. Voor iedere WKO is er op 2 plaatsen een bovengrondse ruimte nodig van circa 2 m² voor een pompinstallatie. Deze moeten tussen het waterlichaam en de warmtepompinstallatie worden ingepast.

De extra **elektravraag** varieert van 2,6 tot 6,3 windmolens. In alle scenario's zal er dus een significante toename zijn van de elektravraag. Dit komt omdat in alle scenario's een deel van de warmte moet worden opgewaardeerd met warmtepompen. Bij de individuele concepten en alle lage temperatuur collectieve bronnen zijn warmtepompen nodig. Bij het toepassen van diepe geothermie is geen warmtepomp nodig en dus veel minder extra elektriciteit. Dit zien we ook terug in scenario 1A en 1B waar maximaal wordt ingezet op diepe geothermie. In die scenario's is ook de extra elektravraag het kleinst. De toename in elektravraag is dus te beperken door in te zetten op diepe geothermie.

De **realisatietijd** wordt in scenario's 1 en 3 (A en B) gedomineerd door de lange voorfase die nodig is voor geothermiebronnen. Daarom is de realisatietijd van scenario's 2A en 2B korter. Bij de B scenario's moeten ook nieuwe wijknetten worden aangelegd in de gemeente, wat niet is meegenomen in de realisatietijd. Bij een aanlegssnelheid van 1000 aansluitingen per jaar (wat erg snel is in vergelijking met ervaringen van warmtebedrijven) komt dit neer op 16 jaar doorlooptijd. Dit is langer dan de ingeschatte realisatietijd voor vier geothermie dubletten.

De **totale nationale investeringskosten** van de verschillende scenario's liggen relatief dicht bij elkaar. Voor de woningen met een aansluiting op het warmtenet hebben we aangenomen dat deze geïsoleerd worden naar label B in het eindbeeld. Voor de woningen met een individuele oplossing is voor sommige woningtypes meer isolatie vereist, naar label A. De isolatiekosten in de 'A' scenario's zijn hierdoor hoger dan in de 'B' scenario's.

In de 'A' scenario's ligt een groot deel van de kosten bij de 'gebouwinstallatie'. Dit zijn met name de kosten voor de warmtepompen. Deze kosten moeten worden betaald door de gebouweigenaar. In de 'B' scenario's ligt een groot deel van de kosten bij 'infrastructuur'. Dit betreft de investering in nieuwe warmteleidingen.

De investeringen voor de extra windmolens zijn niet meegenomen. Deze studie doet ook geen uitspraak over waar deze windmolens moeten worden gebouwd of wie dat moet doen. Merk op dat de extra elektravraag niet noodzakelijkerwijs moet worden gedekt met windmolens, andere elektriciteitsbronnen zijn ook mogelijk.

We constateren tot slot dat de initiële aanname dat geothermie een kleiner ruimtebeslag heeft dan TEO niet terecht was. Bij herijking van de kengetallen hiervoor kwam naar boven dat het benodigde oppervlak voor een draaiende geothermie-installatie groter is dan gedacht. Onze interpretatie hiervan is dat beide technieken erg ruimte-efficiënt zijn en het onderlinge verschil in het niet valt bij het ruimtebeslag voor bijvoorbeeld zonthermie. Dit betekent ook dat scenario's 1A en 1B niet voldoen aan de voorwaarde: 'minimaal gebruik bovengrondse ruimte' door het kiezen van geothermie. De voorwaarde 'minimale extra elektravraag' is nog wel voldaan. Om die reden kiezen we geothermie alsnog als voorkeurstecnologie voor deze scenario's.

Invloed van gemeente

De gemeente heeft als decentrale overheid en als grondeigenaar op verschillende manieren invloed op de ontwikkeling van warmtebronnen. Ook op de aanpassing van gebouwen en het ontwikkelen/vervangen van infrastructuur heeft de gemeente invloed, maar daar gaan we in deze studie niet op in om de focus op bronnen te behouden.

Omdat invloed niet te kwantificeren is, wordt dit aspect niet per scenario uitgewerkt. In de plaats daarvan beschrijven we voor TEO en geothermie (de twee potentiële grootste bronnen) hoe en wanneer de gemeente invloed heeft op de ontwikkeling.

Disclaimer: de rol en invloed van gemeente is een complex juridisch en beleidstechnisch onderwerp, waar meerdere rapporten over geschreven kunnen worden (en zijn). Hier worden enkel een aantal belangrijke aspecten aangestipt en claimen we geen compleet overzicht te geven.

Naast bronspecifieke invloed zijn er nog een aantal vormen van invloed die voor alle warmtebronnen gelden:

- De gemeente krijgt wellicht invloed op o.a. de duurzaamheid van de warmtebron door middel van de aankomende Wet Collectieve Warmtevoorziening (WCW, ook wel Warmtewet 2.0). Aangezien deze wet nog op de tekentafel ligt bij EZK, is het niet zeker welke instrumenten hier uiteindelijk in zullen worden opgenomen. Afgaande op de vorige conceptversie van de WCW zit de invloed met name in de eisen die per warmtekavel kunnen worden opgelegd aan een exploitant.
- Door zelf een rol op te nemen in de keten, wordt de invloed van de gemeente op de selectie en ontwikkeling van warmtebronnen uiteraard vergroot. Dit kan door middel van een gemeentelijk warmtebedrijf of een samenwerking.

TEO

Invloed als overheid

De bevoegdheid voor vergunningverlening voor wateronttrekking (eigenaar waterlichaam) en het aanleggen van een WKO (provincie, via omgevingsdienst) ligt bij andere instanties. Wel kan de gemeente regie hierin nemen door het opstellen van een bodemplan. Ook de vergunningverlening voor bouw van bijv. de technische ruimte van de warmtepomp ligt binnen bij de gemeente.

Invloed als grond- of watereigenaar

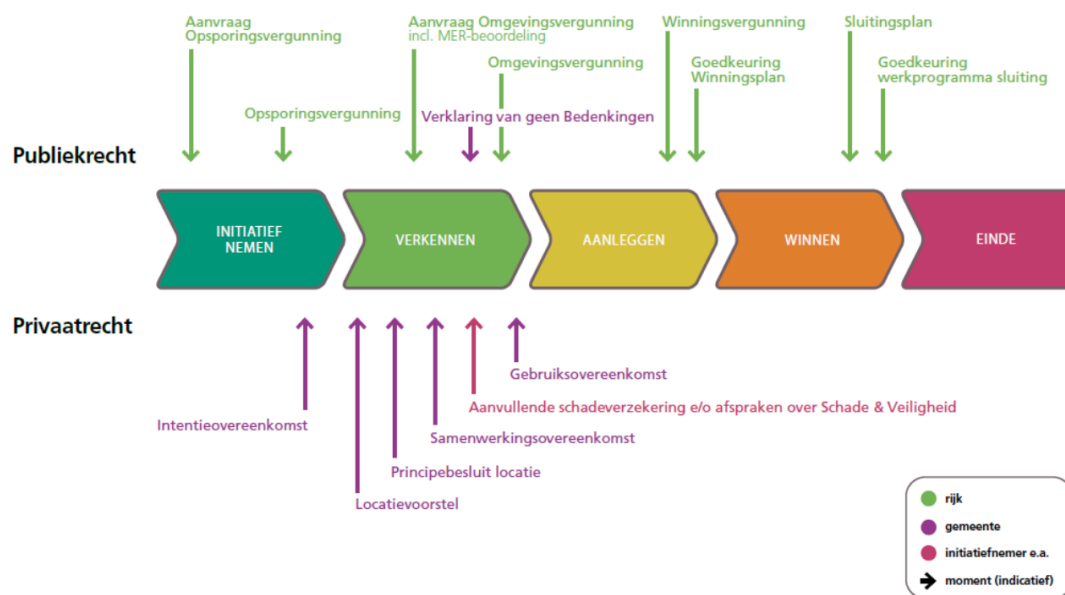
Voor waterlichamen die in eigendom van de gemeente zijn ligt de bevoegdheid voor vergunningverlening wel bij de gemeente. Ook heeft de gemeente meer invloed op de bouw van bijv. de technische ruimte als ze grondeigenaar is t.o.v. wanneer de grond in bezit is van een andere partij.

Geothermie

De invloed van de gemeente op de ontwikkeling van geothermie wordt uitgebreid beschreven in het eigen afwegingskader aardwarmte van gemeente Nieuwegein. Daarom volgt hier enkel een samenvatting en een overzichtelijk schema uit dat afwegingskader (Figuur 3).

Het bevoegd gezag voor een aardwarmteproject is het Rijk, specifiek het ministerie van EZK. De formele rol van een gemeente is beperkt omdat het de diepe ondergrond betreft. Wel wordt de gemeente voor verschillende besluiten gevraagd om advies uit te brengen aan het ministerie. Gemeente Nieuwegein ziet voor zichzelf een belangrijke regierol als belangenbehartiger van de inwoners. De gedeeltelijke invloed van de gemeente is met name in de voorfasen:

- 'Initiatief nemen'
- 'Verkennen'.



Figuur 3: Momenten van invloed van de gemeente op de ontwikkeling van een aardwarmteproject. Bron: Afwegingskader aardwarmte Nieuwegein (2021).

Mitigatiemaatregelen voor resterende CO₂-uitstoot en hoge elektravraag

Uit de scenario-analyse blijkt dat sommige scenario's goed scoren op bepaalde aspecten en minder goed op andere aspecten. Voor de resterende CO₂ uitstoot en de hoge bijkomende elektravraag van sommige scenario's reiken we een aantal mitigatiemaatregelen aan. De lijst van maatregelen hieronder is niet uitputtend, maar geeft een indicatie.

CO₂-uitstoot verder reduceren

Een doel van de gemeente is om in 2040 CO₂-neutraal te zijn. Dit is momenteel lastig hard te maken om dat nog niet is bepaald volgens welke rekenmethodiek de CO₂-neutraliteit bepaald zal worden. In elk van de scenario's kan een grote reductie in CO₂ uitstoot gerealiseerd worden, maar er blijft altijd nog een rest uitstoot. Dit heeft twee redenen; bij oppompen van water bij geothermie komen methaan-gassen vrij die in het water opgelost waren, en de prognose is dat de stroomvoorziening in 2040 nog niet volledig CO₂-neutraal zal zijn.

Bijvangst

De methaan-gassen, ook wel formatiegassen of 'bijvangst' genoemd, worden in de meeste gevallen verbrand, waarbij CO₂ vrijkomt. Er zijn echter door TNO⁸ drie methodes genoemd om deze uitstoot te elimineren.

Ten eerste, kan men de CO₂-gassen afvangen en herinjecteren in het formatiewater. Ten tweede kan het formatiegas in oplossing gehouden worden door het opgepompte water onder hoge druk te houden. Ten slotte is het mogelijk om de gassen af te vangen, op te waarderen en te verkopen aan het gasnetwerk.

Voor aquifers met een lage gasconcentratie wordt aanbevolen om de formatiegassen in oplossing te houden. Voor aquifers met een hoge concentratie is het afvangen van CO₂ aantrekkelijker, vooral als er meerdere doubletten op één installatie aangesloten kunnen worden. Algemeen is het gas opwaarderen en doorverkopen altijd voordeliger, maar het is een afweging of het gewenst is dat de CO₂ dan elders uitgestoten word.

⁸ Duurzaamheid van geothermie in warmtenetten – TNO, December 2020

Stroomvoorziening

Naast de bijvangst bij geothermie is er nog CO₂-uitstoot die vrijkomt bij het opwekken van stroom. Nederland, en de EU, streven ernaar om de elektriciteitsproductie CO₂-neutraal te maken, maar in 2040 zal dit waarschijnlijk nog niet volledig gerealiseerd zijn.

Om deze rest uitstoot te reduceren kan de gemeente het heft in eigen handen nemen wat betreft elektriciteitsopwekking. Ze kan gebruik maken van hernieuwbare elektriciteitsbronnen als zonnepanelen of windmolens, eventueel in combinatie met batterijen. Tevens zou de gemeente een energiecontract af kunnen sluiten met een leverancier die CO₂-neutrale stroom aanbiedt. Of dit aan de duurzaamheid van het warmtenet of de individuele warmtepompen mag worden toegekend hangt af van de bepalingsmethodiek voor CO₂-uitstoot. Aangezien deze nog niet vastligt, is hier nog geen advies in te geven.

Elektriciteitsverbruik reduceren

In sommige scenario's stijgt het elektraverbruik sterk t.o.v. de huidige situatie. Dit komt doordat warmte die gewonnen wordt uit duurzame bronnen (zoals TEO of TEA) opgewaardeerd moet worden tot een hoge temperatuur en door de extra elektriciteit die nodig is voor de individuele warmtepompen. Er zijn enkele maatregelen die het extra elektriciteitsverbruik kunnen reduceren.

Beter isoleren

Door huizen beter te isoleren, verlaagt de warmtevraag én is er een lagere aanvoertemperatuur nodig om ze te verwarmen. Dit betekent dat alle warmtepompen, zowel de grote industriële als de kleine individuele, het water tot een minder hoge temperatuur moeten opwaarden wat minder energie kost en tevens de efficiëntie verhoogt. In de praktijk kan deze maatregel worden toegepast door een deel van het warmtenet op lagere temperatuur te laten werken.

Keerzijde: een hogere investeringsopgave bij de gebouweigenaren.

Warmte onttrekken op een hogere temperatuur

De TEO systemen, zoals ze zijn meegenomen in dit onderzoek, onttrekken water op 20 graden Celsius. Als het oppervlaktewater bijvoorbeeld alleen maar wordt onttrokken op 25 graden, verhoogt dit de efficiëntie van de warmtepomp en verlaagd dit het elektriciteitsverbruik.

Keerzijde: meer TEO installaties nodig, dus duurder, meer ruimtebeslag en langere realisatietijd.

Conclusies

Op basis van de resultaten van de praktische potentie en de scenario-analyse zijn de belangrijkste conclusies:

- **Thermische energie uit oppervlaktewater** (TEO) heeft ruim voldoende praktische potentie om de toekomstige warmtevraag de scope te dekken. Het **dekkingspercentage is ca. 650%**. Het Amsterdam-Rijnkanaal en de Lek zijn verantwoordelijk voor ruim 80% van de TEO potentie.
- Er is ruimte voor **9 geothermie doubletten**: vier diep geothermie (1,5-4 km diep) en vijf ondiep (0,5-1,5 km diep). Dit resulteert voor geothermie in een **dekkingspercentage van net geen 100%**. Dit resultaat hangt sterk af van het ruimtelijk beleid van de gemeente en is gebaseerd op het 'Afwegingskader aardwarmte Nieuwegein'.
- Dat een warmte-installatie volgens onze aannames ergens **praktisch mogelijk** is, **betekent niet** dat er **geen andere claims** op deze locaties zullen zijn. Er zal alsnog een ruimtelijk afweging gemaakt moeten worden, waardoor de potentie kan verkleinen.
- Zonder extra inspanning bovenop de doorgerekende scenario's is een **CO₂-neutrale warmtevoorziening in 2040 niet haalbaar**. Mogelijke mitigatiemaatregelen hebben te maken met vergroening van de elektriciteit en de uitstoot uit bijvangst bij geothermie te elimineren.
- De bijkomende elektravraag is equivalent aan 2,6 tot 6,3 extra windmolens, afhankelijk van het scenario, en is het grootst bij scenario's die gebruik maken van TEO.
- Het **ruimtebeslag** voor duurzame warmtebronnen is **groter tijdens de realisatie** (tijdelijk) dan tijdens de exploitatie (langdurig). Geothermie vereist ca. twee keer zoveel ruimte als TEO.
- De **investeringskosten** van de verschillende scenario's liggen **relatief dicht bij elkaar**. De warmtebronnen zelf vertegenwoordigen slechts ca. 10% van het totale warmtesysteem, dus loont om naar het totale plaatje te kijken.
- De **exploitatiekosten** zijn hoger voor **elektra-intensieve scenario's** waarin veel op TEO en/of individuele warmtepompen wordt ingezet.

Bijlages

Bijlage A: Uitleg van eenheden en afkortingen

Hieronder volgt een uitleg van eenheden en afkortingen die vaak gebruikt worden in het rapport. Ten eerste, een tabel met eenheden die betrekking hebben tot de hoeveelheid of grootte van energie(stromingen).

Tabel 8. Beschrijving eenheden

Eenheid/ term	Volledig uitgeschreven	Betekenis
W	Watt	Hoeveelheid energie per seconde
J	Joule	Hoeveelheid energie
Wh	Wattuur	Hoeveelheid energie (1 Wh = 3600 J)
k	Kilo	Duizend (1.000x)
M	Mega	Miljoen (1.000.000x)
G	Giga	Miljard (1.000.000.000x)
T	Tera	Biljoen (1.000.000.000.000x)

Als er bij een bron of warmtepomp gesproken wordt over MW (Megawatt), gaat het dus over de hoeveelheid energie die een dergelijke bron of warmtepomp per seconde kan produceren. Als er bij een bron of bij de warmtevraag van de gebouwde omgeving over TJ (terajoule) gesproken wordt, gaat het over de hoeveelheid energie die opgewekt kan worden of verbruikt wordt.

Ten tweede, een overzicht van afkortingen die veel gebruikt worden.

Tabel 9. Overzicht van afkortingen

Term	Volledig uitgeschreven
TEO	Thermische energie uit oppervlaktewater
TEA	Thermische energie uit afvalwater
WKO	Warmte koude opslag
WRK	Watertransportmaatschappij Rijn-Kennemerland
RWZI	Riool water zuiveringsinstallatie

Bijlage B: Methodiek en uitgangspunten

B.1 Methodiek praktische potentie

B.1.1 Methodiek TEO

De wateren in Nieuwegein zijn verdeeld in types op basis van stroomsnelheid, debiet en breedte van de rivier/het kanaal. Deze factoren bepalen tevens de correctiefactor die wordt toegepast om rekening te houden met de inpassing van in- en outlets.

Grote stilstaande kanalen/rivieren

Deze kanalen/rivieren hebben een relatief laag debiet t.o.v. het totale oppervlak. De warmtepotentie wordt dus voornamelijk bepaald door de oppervlakte van het kanaal. Dit betekent dat het lozingswater volledig moet opwarmen voordat het opnieuw gebruikt kan worden door een TEO installatie. De studie die gemeente Utrecht uit

heeft laten voeren voor de Merwedekanaalzone toont aan dat voor een dergelijk water ongeveer de helft van de technische potentie benut kan worden (correctiefactor = 0.5).

Grote stromende kanalen/rivieren

Voor grote stromende kanalen/rivieren is het lozingsdebiet van een TEO installatie klein t.o.v. van het totale debiet van het water (maximaal 5%). Dit betekent dat het lozingswater zich snel mengt met het kanaalwater. TEO systemen hebben dus een klein effect op het waterlichaam.

Kleine stromende water

Deze wateren worden gekenmerkt door hun hoge stroomsnelheid t.o.v. van het oppervlak. Dit betekent dat het lozingswater zich snel mengt, maar weinig oppervlakte heeft om opgewarmd te worden door de buitenlucht en de zon. Dit betekent dat het lang duurt voordat het water weer is opgewarmd.

Plassen/ meren

Plassen en meren zijn gekenmerkt doordat ze helemaal geen stroming hebben en dat het lozingswater enkel weer opwarmt door uitwisseling met de atmosfeer. De TEO in- en outlets kunnen wel slim geplaatst worden, zodat een stroming geïnduceerd word.

Tabel 10. Overzichtstabel van de praktische potentie van TEO systemen

	Technische potentie WarmingUP [TJ/jaar]	Praktische potentie a.d.h.v. factor in-outlets [TJ/jaar]	Potentie met bovengronde ruimte beperking [TJ/jaar]	Potentie met WKO opslag beperking [TJ/jaar]	Totaal [TJ/jaar]
Grote wateren (stilstaand)					
Merwedekanaal	1322	595	397	6704	397
Lekkanaal	1787	804	288	2172	288
Grote wateren (stromend)					
Amsterdam-Rijnkanaal	2723	2451	2539	2993	2451
Lek	4459	4013	4063	3064	3064
Kleine wateren (stromend)					
Doorslag	139	104	325	1573	104
Kromme IJssel	981	736	216	945	216
Totaal	11835	8847	7972	22552	6533

B.1.2 Methodiek WRK

Het vermogen van de WRK leidingen kan bepaald worden met de volgende formule:

$$P = dT * Q * \rho * c_p$$

Waar p gelijk is aan de dichtheid en c_p aan de specifieke warmte van water. dT is gelijk aan het maximaal toelaatbaar temperatuurverschil van 1 graden Celsius en Q is gelijk aan het debiet van de leidingen. Uit meetdata verkregen door Waternet is bepaald wat het gemiddeld debiet is per leiding. Door dit allemaal te combineren komt men uit op een vermogen van 7,4, 3,2 en 3,4 MW voor de drie verschillende leidingen.

Om dit om te rekenen naar energie per jaar moet het vermenigvuldigd worden met het aantal vollasturen. Er is uitgegaan van 7000 vollasturen wat uit zou komen op 350 TJ aan onttrekbare warmte per jaar. In combinatie met een warmtepomp met een COP van 3 kan dit opgewaardeerd worden naar 530 TJ. Als men deze energie verdeelt volgens het principe 'elke gemeente evenveel warmte', komt men uit op het aandeel voor Nieuwegein van 60 TJ.

B.2 Methodiek scenariostudie warmtebronnen

B.2.1 Longlist warmtebronnen

Bij de concretisering van de scenario's zijn warmtebronnen uit onderstaande longlist geselecteerd op basis van gekende eigenschappen of verwachte uitkomsten van deze bronnen. Deze longlist is gebaseerd op de broninventarisatie van Greenvis uit 2021.

Categorie	Bron
Restwarmte	Restwarmte
Aquathermie	TEO
	TEA
	WRK
Zonthermie	Zon op veld
	Zon op dak
Geothermie	Ondiepe 500 - 1500 m-mv*
	Diep 1500 - 4000 m-mv*
	Ultradiep > 4000 m-mv*
Luchtwarmte	Collectieve warmtepomp
	Drycoolers + WKO
Bodemwarmte	Bodemwarmtepomp
	Tot 500 m-mv*

* m-mv = meter onder maaiveld

B.2.2 Uitgangspunten scenario-analyse

Hieronder volgt een lijst met de (belangrijkste) uitgangspunten die zijn gehanteerd voor de scenario-analyse.

- Prijspeil 2021; dit is het prijspeil van vóór de extreme stijgingen op o.a. de energiemarkt. Met name de operationele energiekosten worden hierdoor beïnvloed.
- Kostenberekening is inclusief alle toeslagen (10% projectmanagement & engineering, 30% onvoorzien)
- Warmtenet
 - Participatiegraad: 100% (alle gebouwen sluiten aan in gebieden die in de scenario's een warmtenet krijgen)
 - Inzet piekopwek: 19% van totale warmteproductie en 70% van het piekvermogen (passend bij warmtevraagprofiel van een bestaande woonwijk)
 - Panden met meerdere adressen krijgen per adres een individuele aansluiting op het warmtenet.
- Isolatie: voor warmtenet alles isoleren naar label B. Bij individuele oplossingen naar label B of A afhankelijk van het type pand.
- Individuele oplossingen
 - 50% lucht-water warmtepomp, 50% bodem-water warmtepomp.
 - Panden met meerdere adressen krijgen in het geval van een lucht-water warmtepomp één warmtepomp per adres (individueel)
 - Panden met meerdere adressen krijgen in het geval van een bodem-water warmtepomp één warmtepomp per adres (individueel)
- Collectiviteit binnen pand: individuele aansluiting bij warmtenet en luchtwarmtepomp; Bij bodemwarmtepompen 1 collectieve warmtepomp per pand.
- CO₂ uitstoot elektriciteit: voor inkoop van elektriciteit van de landelijke net is uitgegaan van de cijfers uit de Klimaat en energieverkenning 2021:
 - CO₂ intensiteit 2021 0,43 kg/kWh (KEV 2021);
 - CO₂ intensiteit 2030 0,12 kg/kWh (prognose KEV 2021);
 - CO₂ intensiteit 2040 0,06 kg/kWh (interpolatie tussen waarde 2030, en 0 kg/kWh in 2050).

B.3 Geluidsemissie Industriële warmtepompen

Grote industriële warmtepompen produceren vrij veel geluid. Afhankelijk van het type en de configuratie kan dit wel oplopen tot 80 à 90 dB. De meeste moderne industriële warmtepompen produceren een geluid van rond de 80 dB. In het bouwbesluit staat dat 's nachts op de gevel van een woning het maximale geluidsniveau 35 dB mag zijn. Om hieraan te voldoen moet een warmtepomp die 80 dB produceert minimaal 25m van een woning af staan. Hierbij is gerekend met een toeslag van 5 dB op het geluid voor het tonaal karakter en een geluidsdemping bij de bron van 15 dB. Onze inschatting is dit geen bijkomende praktische beperkingen oplegt aan de potentie van TEO en ondiepe geothermie. Voor een warmtepomp die 90 dB produceert is deze afstand 75m.