

**SYNTRAAL**



# **Warmte uit de Eem; de potentie voor Amersfoort, Baarn, Soest en Eemnes**

**13 februari 2023**

## Verantwoording

<b>Titel</b>	Warmte uit de Eem; de potentie voor Amersfoort, Baarn, Soest en Eemnes
<b>Opdrachtgever</b>	RES Regio Amersfoort, vertegenwoordigd door gemeente Baarn, Sibren Lochs
<b>Projectleider</b>	Simon Bos
<b>Auteur(s)</b>	Martin Koorn, Simon Bos
<b>Tweede lezer</b>	Joris van de Ven
<b>Uitvoering meet- en inspectiewerk</b>	
<b>Projectnummer</b>	1322582
<b>Aantal pagina's</b>	36
<b>Datum</b>	13 februari 2023
<b>Handtekening</b>	'Ontbreekt in verband met digitale verwerking. Dit rapport is aantoonbaar vrijgegeven'

## Colofon

Syntraal  
Kamperstraat 13021  
Postbus 479  
7400 AL Deventer  
T +31 88 02 44 300  
E [info@syntraal.nl](mailto:info@syntraal.nl)

## Inhoud

Beknopte samenvatting.....	6
1 Inleiding.....	8
1.1 Kader.....	8
1.2 Onze aanpak.....	8
1.2.1 Fase 1 – Bronnenanalyse.....	8
1.2.2 Fase 2 - Selectie kansrijke wijken.....	8
1.2.3 Fase 3 - Economische haalbaarheid.....	8
2 Fase 1: Bronnenanalyse.....	10
2.1 Toelichting TEO.....	10
2.1.1 Hoe werkt het?.....	10
2.1.2 Wanneer is TEO geschikt?.....	10
2.1.3 Is TEO zinvol?.....	10
2.2 Stroomgebied van de Eem.....	10
2.3 Debietanalyse.....	11
2.4 Ecologische effecten.....	12
2.4.1 Mengzone.....	13
2.4.2 Lozingsdebiet.....	13
2.4.3 Thermisch lengteprofiel.....	13
2.4.4 Conclusies.....	14
2.5 Warmte-koude-opslag (WKO).....	15
2.5.1 Principe.....	15
2.5.2 Bodemanalyse.....	15
2.5.3 Grondwaterstroming.....	16
2.5.4 Wettelijke beperkingen.....	17
2.5.5 Aandachtsgebieden.....	18
2.6 Potentie riothermie.....	19
2.6.1 Wat is riothermie?.....	19
2.6.2 Bepaling warmtepotentie.....	20
2.6.3 Debietanalyse.....	20
2.6.4 Conclusies.....	21

3	Fase 2: Selectie kansrijke wijken .....	22
3.1	Type warmtenet .....	22
3.1.1	Een duurzamer systeem.....	23
3.1.2	Flexibiliteit voor bewoners .....	23
3.1.3	Algemene criteria woonwijken voor haalbaarheid van een bronnet.....	23
3.2	Warmtevraag per woning .....	23
3.3	Selectie kansrijke wijken .....	24
3.3.1	Wijk kenmerken .....	25
4	Fase 3: Economische haalbaarheid.....	27
4.1	Uitgangspunten en opzet van de businesscase .....	27
4.1.1	TEO Warmtewinning.....	27
4.1.2	Bronleiding.....	27
4.1.3	Warmte- koude opslag.....	27
4.1.4	Warmte-wijk station .....	27
4.1.5	Ontwerp warmtetracé bronnet / MT net .....	27
4.2	Woningaanpassingen.....	29
4.2.1	Individuele water/water warmtepomp .....	29
4.2.2	Isoleren.....	29
4.2.3	Afleverzet.....	29
4.2.4	Lage temperatuur radiatoren .....	29
4.2.5	Koken op inductie en aanpassen meterkast.....	30
4.3	Bijdrage Aansluitkosten (BAK).....	30
4.4	CAPEX-subsidie.....	31
4.5	Conclusies uit de businesscase .....	31
4.5.1	Invloed afstand tot Eem .....	31
4.5.2	Invloed van opschaling .....	31
4.5.3	Invloed type warmtenet.....	32
4.5.4	Invloed vollooptscenario's.....	32
4.6	Vergelijking met andere warmteconcepten .....	33
4.6.1	Bestaande bouw.....	33
4.6.2	Nieuwbouw .....	35
5	Conclusies en advies.....	36

**Kenmerk** R001-1322582SCB-V01-ygl-NL

5.1	Conclusies.....	36
5.2	Advies .....	36

## Beknopte samenvatting

In de **eerste fase** is de warmtepotentie van de warmtebronnen bepaald. Dit zijn de belangrijkste conclusies:

- **TEO Potentie:** Het gemiddelde zomerdebiet is 18.000 m<sup>3</sup>/uur. Op basis van de handreiking beoordeling koudelozingen van is het maximale lozingsdebiet per koudelozing 180 m<sup>3</sup>/uur. De warmtepotentie per koudelozing is 11.750 GJ/jaar, genoeg voor ongeveer 320 woningen
- **WKO Potentie:** Voor elke gemeente is de bodem zeer geschikt voor de toepassing van een WKO. Ook zijn er geen significante wettelijke beperkingen in de buurt van de woningbouw. Per WKO kan er 9.700 GJ/jaar worden opgeslagen
- **TEA Potentie:** Het winbare debiet bij het effluent van de RWZI Soest is 260 m<sup>3</sup>/uur. Bij directe levering is er een beschikbaar bronvermogen van 1.509 kW en kunnen ongeveer 335 woningen worden verwarmd. Als gebruik wordt gemaakt van een WKO is de warmtepotentie 42.000 GJ/jaar en kunnen tot 1.100 woningen worden verwarmd

In **fase 2** zijn voor elke gemeente 1 of 2 wijken geselecteerd waarvoor een kostenraming en business case wordt gemaakt in fase 3. Onderstaand worden per gemeente de belangrijkste kenmerken van de geselecteerde wijken genoemd die van invloed zullen zijn op de business case.

- **Eemnes:** Eemnes ligt op een relatief grote afstand van de Eem. Het leidingwerk moet deze afstand overbruggen wat extra kosten zal meebrengen. Voor de wijk "Zuidbuurt" zal een bronnet en een MT net worden doorgerekend zodat de types warmtenetten met elkaar kunnen worden vergeleken
- **Baarn:** De wijk Eemdal Noord en het aanliggende bedrijventerrein worden doorgerekend. Op het oog zijn deze wijken kansrijk, aangezien ze direct naast de Eem liggen
- **Soest:** De wijken dicht bij de Eem hebben hogere energielabels en bouwjaren. De nieuwere wijken liggen verder van de Eem af, waardoor het leidingwerk deze afstand zal moeten overbruggen. Dit zal van invloed zijn op de investeringskosten
- **Amersfoort:** Bij deze wijken gaat het om nieuwbouwprojecten die vlak naast de Eem liggen. Nieuwbouwwoningen hebben een hoge isolatiegraad waardoor er relatief veel woningen kunnen worden aangesloten per warmtebron. Daarnaast kan het warmtenet goedkoper worden aangelegd dan bij bestaande bouw als het tegelijkertijd met andere nutsvoorzieningen wordt aangelegd

In **fase 3** is voor de verschillende wijken een kostenraming en business case doorgerekend. Hieruit volgde een benodigde BAK om de business net positief te krijgen. De scenario's zijn vervolgens vergeleken met alternatieve individuele warmteconcepten. De belangrijkste leerpunten van deze fase zijn als volgt.

### Business case - Invloeden op de benodigde BAK

De benodigde BAK, en daarmee de haalbaarheid van het project is sterk afhankelijk van een aantal parameters. De belangrijkste is de afstand tot de Eem als gevolg van het benodigde bronleiding die nodig is om de afstand te overbruggen. Voor de betreffende gemeentes is toepassing op grotere schaal nodig om het project haalbaarder te maken. Bij een MT-net is de BAK lager als gevolg van hogere

jaarlijkse inkomsten. Voor een bewoner zijn de kosten voor een MT-net op lange termijn wel een stuk hoger dan bij een bronnet. Als laatste moet rekening gehouden worden met het volloopsценario. Het is belangrijk dat bewoners willen aansluiten op het bronnet. Of dit voor bewoners aantrekkelijk is volgt uit de vergelijking met individuele alternatieven.

### **Vergelijking individuele alternatieven**

Aansluiting op een bronnet kan competitief zijn over 30 jaar vergeleken met overige alternatieven. Voorwaarde is dat de BAK niet te hoog is. Als uitgangspunt voor haalbaar project kan worden aangenomen dat deze maximaal 10.000 EUR kan bedragen bij bestaande bouw en 5.000 EUR bij nieuwbouw.

## 1 Inleiding

### 1.1 Kader

In het najaar van 2022 heeft Syntraal in opdracht van de RES (Regionale Energie Strategie) Regio Amersfoort een onderzoek gedaan om kansrijke wijken te identificeren voor de toepassing van aquathermie vanuit de Eem. De warmtepotentie uit de Eem wordt als een kans gezien om een bijdrage te leveren aan de duurzame warmtetransitie. Het stroomgebied van de Eem begint in Amersfoort en eindigt in het Eemmeer. Op de route stroomt de rivier langs de gemeentes Amersfoort, Soest, Baarn en Eemnes, waardoor het onderzoek is toegespitst op deze gemeentes.

Syntraal heeft voor dit onderzoek de warmtepotentie van de Eem, de rioolwaterzuivering in Soest en de WKO-capaciteit in kaart gebracht. Uit het onderzoek volgt vervolgens een advies welke wijken kansrijk zijn op basis van kenmerken van de woningen en de economische haalbaarheid. In deze rapportage zijn de bevindingen samengevat. In de [digitale MapTour](#) kunt u een interactief rapport van onze bevindingen.

### 1.2 Onze aanpak

De bevindingen van het onderzoek worden in chronologische volgorde van de drie onderzoeksfases uitgewerkt. Onderstaand wordt in meer detail genoemd welke onderdelen per fase aan bod komen. De uitkomsten per fase zullen uiteindelijk worden gebundeld in een conclusie en een advies richting de RES Amersfoort.

#### 1.2.1 Fase 1 – Bronnenanalyse

De eerste stap in het onderzoek betreft de uitwerking van de bepaling van de warmtepotentie van beschikbare warmtebronnen. Het onderzoek is primair gericht op de potentie van thermische energie uit oppervlaktewater (TEO) in combinatie met warmte- koude opslag (WKO). Er is ook rekening gehouden met de ecologische impact van eventuele warmtewinning uit de rivier. Naast TEO uit de Eem, is ook de warmtepotentie van de rioolwaterzuivering (RWZI) in Soest in beeld gebracht. Deze bron is namelijk een potentiële koppelkans die samen met TEO kan worden toegepast.

#### 1.2.2 Fase 2 - Selectie kansrijke wijken

In de tweede fase is een match gemaakt tussen de warmtepotentie vanuit de Eem en de warmtevraag van kansrijke wijken. De selectie van de kansrijke wijken heeft in overleg met de betrokken gemeentes plaatsgevonden. De selectie is gebaseerd op bepaalde criteria die volgen vanuit het gekozen energiesysteem (een bronnet of een midden-temperatuurnet). Er is bijvoorbeeld rekening gehouden met de bouwjaren en energielabels, maar ook met de afstand tot de Eem.

#### 1.2.3 Fase 3 - Economische haalbaarheid

Als laatste stap is voor de geselecteerde wijken een business case doorgerekend, waaruit blijkt of het voor die wijk een haalbaar project is. In deze context is de haalbaarheid gebaseerd op de



betaalbaarheid. Voor een eventuele investeerder in een aquathermie project, maar ook voor de bewoner. Om die reden is ook een vergelijking gemaakt met andere individuele warmteconcepten.

## 2 Fase 1: Bronnenanalyse

### 2.1 Toelichting TEO

TEO is de verzamelnaam voor de winning en opslag van warmte en/of koude uit oppervlaktewater ten behoeve van verwarming en/of koeling van de gebouwde omgeving. Nederland is een waterland; we hebben heel veel oppervlaktewater. Het economische potentieel van TEO wordt geschat op ongeveer 150 PJ per jaar. Dat is ongeveer 40% van de totale toekomstige warmtevraag van de gebouwde omgeving in Nederland.

#### 2.1.1 Hoe werkt het?

Bij een TEO-project wordt het oppervlaktewater door een warmtewisselaar geleid, waarmee de warmte uit het water wordt gewonnen. Deze warmte kan direct voor het verwarmen van een gebouw of woning worden gebruikt, maar kan ook worden opgeslagen in een warmte- koudeopslag (WKO). Bij dit laatste worden de hoge zomerse temperaturen van het water opgeslagen in de bodem. In de winter wordt dit vervolgens gebruikt voor verwarming van het gebouw. Daarnaast kunnen er gunstige effecten op de ecologie optreden. Water dat niet warmer is dan 25 °C is namelijk minder gevoelig voor blauwalg.

#### 2.1.2 Wanneer is TEO geschikt?

Of TEO een interessante techniek is om toe te passen is sterk afhankelijk van de afstand tussen de warmtevragers en het oppervlaktewater. Daarnaast moet het oppervlaktewater uiteraard voldoende warmtepotentieel bevatten om aan de warmtevraag te kunnen voldoen. Verder is het ook van belang om met name bij grotere systemen te weten of de bodem geschikt is voor een WKO. Bij kleinere systemen kan zonder WKO worden volstaan, mits de temperatuur van het water in de winter niet te laag wordt. Vaak wordt 10 °C aangehouden als ecologisch nog verantwoord. Tenslotte is het goed om te weten dat de maximale warmtewinning (de maximale afkoeling) sterk afhankelijk is van het type oppervlaktewater (het waterlichaam) en de bijbehorende ecologische kenmerken. En voor een TEO-project is een watervergunning nodig.

#### 2.1.3 Is TEO zinvol?

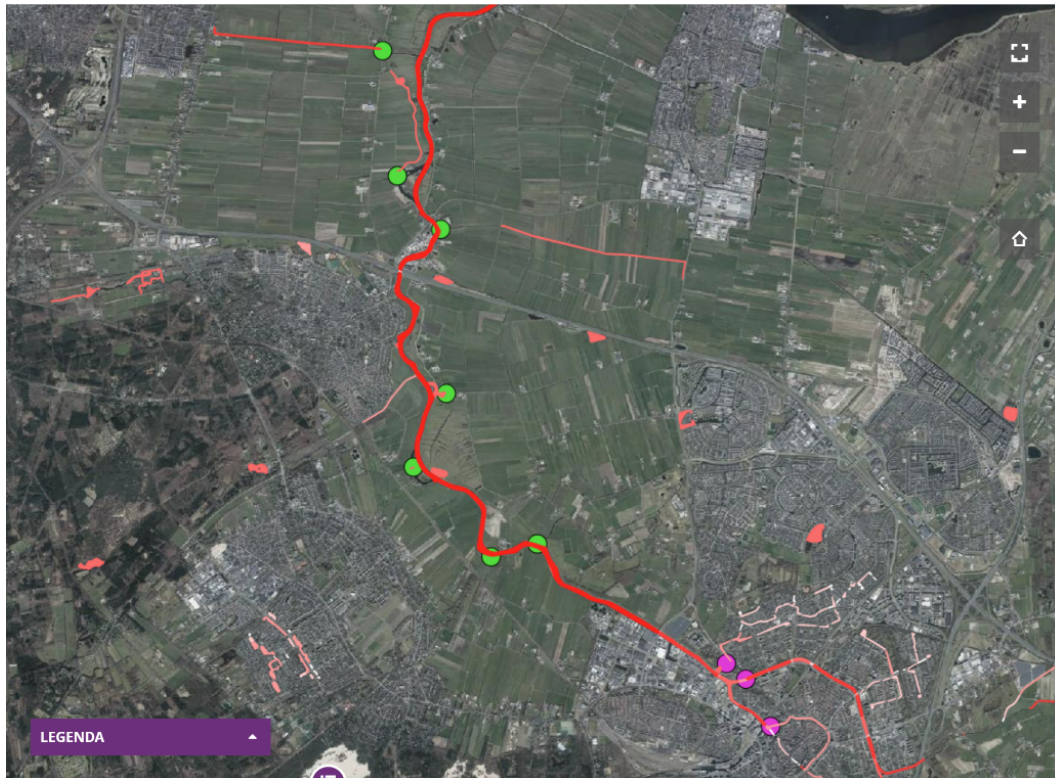
TEO kan erg gunstig zijn omdat het om een schone en duurzame warmtebron gaat waarvan de techniek lang meegaat (30-50 jaar). De techniek neemt weinig (bovengrondse) ruimte in beslag en geeft geen geluidsoverlast. Het is een relatief simpele en ook bekende techniek. Daarnaast kan een TEO-systeem een gunstige invloed hebben op de waterkwaliteit en zo zelfs ingezet worden om waterkwaliteitsdoelen te behalen. Warmtewinning uit oppervlaktewater leidt tot afkoeling van het water in de zomer, bevordert stroming, heeft een positief effect op het zuurstofgehalte en remt daardoor de algenvorming.

### 2.2 Stroomgebied van de Eem

Vanuit het waterschap Vallei & Veluwe is informatie aangeleverd over het stroomgebied van de Eem. Aan de hand van deze informatie is vervolgens een inschatting gemaakt van de warmtepotentie van de Eem. De Eem wordt voornamelijk gevoed vanuit het Valleikanaal (stuwen) en de gracht in Amersfoort (vrije afwatering). Gemalen op verschillende plekken langs de Eem voeren water aan vanuit de polder.

Enkele gemalen hebben een waterinlaat zodat in de zomer grote watergangen opgehouden kunnen worden. In de zomer wordt de Eem zelf op peil gehouden om de scheepvaart mogelijk te blijven maken.

In Figuur 2-1 ziet u de ligging van de stuwen (paars) en gemalen (groen) die van invloed zijn op de afvoer van de Eem.

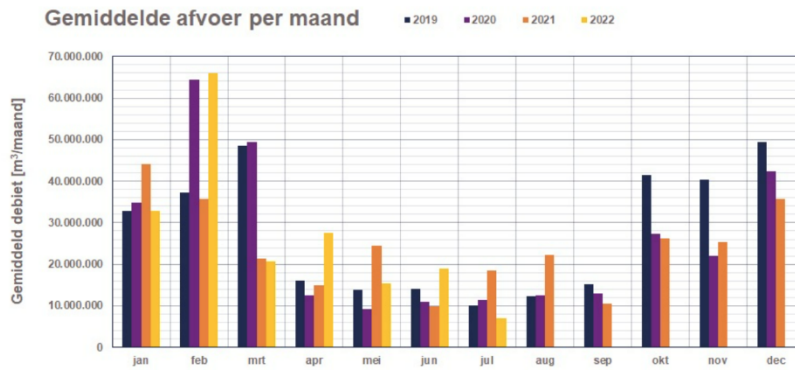


Figuur 2-1: Ligging stuwen en gemalen langs de Eem

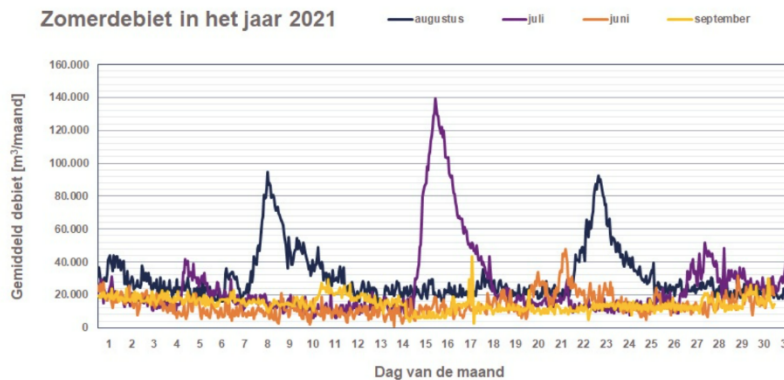
## 2.3 Debietanalyse

Er zijn 3 factoren bepalend voor de warmtepotentie. Het onttrekkingsdebiet, de afkoeling van het water en het aantal vollasturen van warmtewinning. In deze rapportage is uitgegaan van een maximale afkoeling van 6 graden Celcius. Voor het aantal vollasturen is 2.600 uur aangenomen. Dit is het totaal aantal uur per jaar dat oppervlaktewater in Nederland typisch warm genoeg is om warmte uit te winnen. Aan de hand van opgevraagde data bij het waterschap Vallei & Veluwe is de overgebleven parameter ingeschat.

Door het waterschap Vallei en Veluwe is uurdara aangeleverd van de stuwen en gemalen langs de Eem vanaf 2019 t/m juni 2022. Figuur 2-2 toont de variatie van het debiet over het seizoen. Hierbij is voor elk uur het debiet gemeten. Figuur 2-3 toont de gegevens voor de zomermaanden in het jaar 2021. Op basis van deze figuur is het gemiddelde zomerdebiet berekend.



Figuur 2-2: Variatie in debiet van De Eem



Figuur 2-3: Zomerdebiet van De Eem

Een aantal observaties volgen uit de figuren:

- Het patroon van de gemiddelde afvoer per maand is jaarlijks ongeveer hetzelfde. In de zomer is de afvoer ten opzichte van de overige seizoenen relatief laag
- Het debiet is constant gedurende de hele zomer, met uitzondering van een aantal dagen met extreem hoge afvoer. De continuïteit is positief voor de warmtepotentie aangezien er geen periodes zijn dat er geen warmtewinning kan plaatsvinden
- Het gemiddelde zomerdebiet is ongeveer 18.000 m<sup>3</sup>/uur, ofwel 5 m<sup>3</sup>/s.

## 2.4 Ecologische effecten

Voor de beoordeling van de ecologische effecten is de handreiking: kader voor vergunningverlening koudelozingen 1.0, van de STOWA bestudeerd en toegepast op de casus van de Eem. Het warmtepotentieel van de Eem is gebaseerd op de maximale waarden voor vergunningverlening die volgt uit de handreiking. Maatwerk in meer detail zal nodig zijn bij de daadwerkelijke uitvoer van projecten.

## 2.4.1 Mengzone

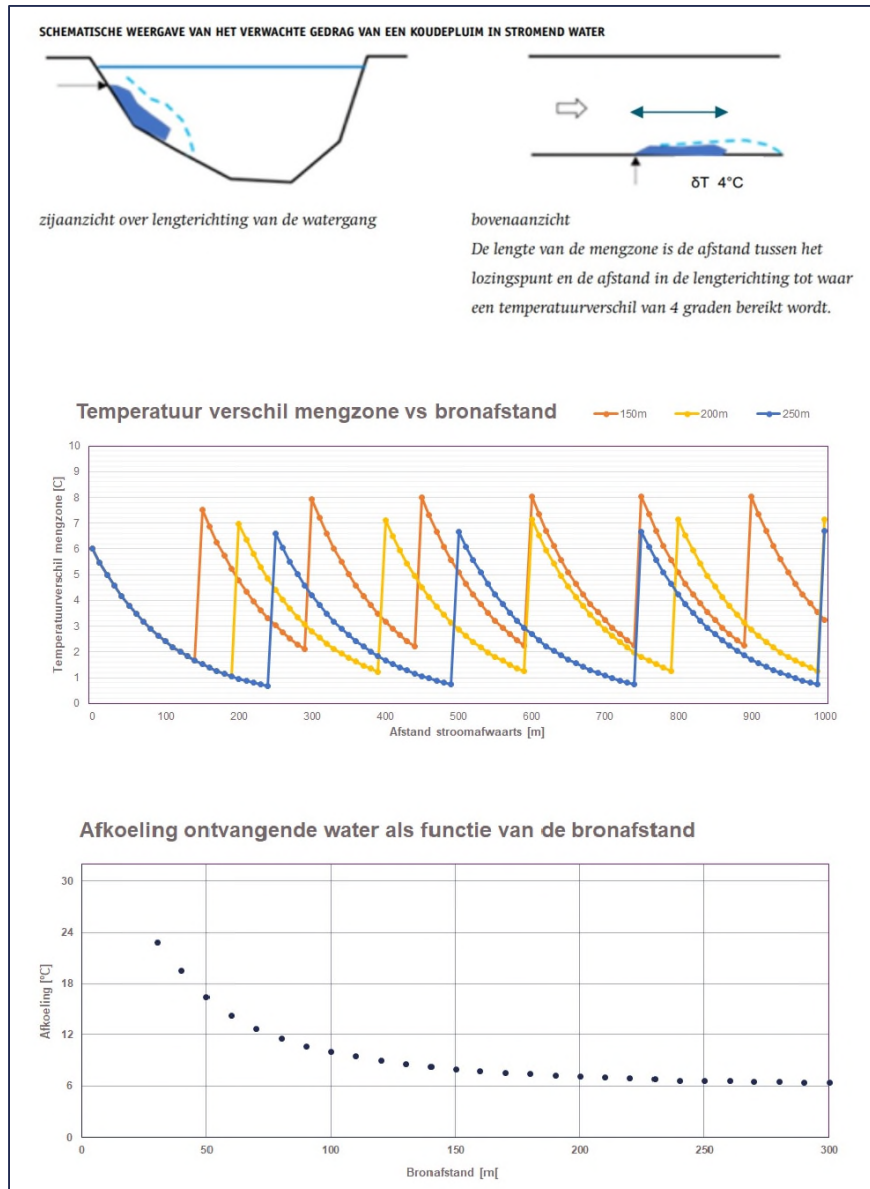
Gedefinieerd als de zone waar er risico is op ecologische effecten. Dit is de zone waarbij de afkoeling van het ontvangende water meer dan 4 graden Celcius is. Bij stromende wateren zoals de Eem is de mengzone meestal klein doordat de geloosde koude zich snel mengt met het ontvangende water. De koudepluim vormt zich primair stroomafwaarts. Door de beperkte grootte van de mengzone zijn de ecologische effecten ook beperkt.

## 2.4.2 Lozingsdebiet

Het lozingsdebiet is begrensd op basis van het KRW-type. Het KRW-type van de Eem is 'R7': Langzaam stromende rivier op zand/klei. Voor dit debiet is het lozingsdebiet maximaal 1% van het zomergemiddelde afvoer. Vanuit de data analyse volgde dat het gemiddelde zomerdebiet 18.000 m<sup>3</sup>/uur betreft. Dit betekent een maximaal lozingsdebiet van 180 m<sup>3</sup>/uur per koudelozing.

## 2.4.3 Thermisch lengteprofiel

In de handreiking is een formule gegeven voor de bepaling van het thermisch lengteprofiel, rekening houdend met de breedte van de rivier, het lozingsdebiet en het temperatuurverschil na warmtewinning. Deze formule geeft aan wat de temperatuur van het water is, na een x aantal meters stroomafwaarts van de koudelozing. Met deze formule is bepaald na welke afstand een nieuwe koudelozing mogelijk is. In Figuur 2-4 is weergegeven wat het effect is op de temperatuur van de rivier bij verschillende afstanden tussen koudelozingen. Uit deze figuur wordt duidelijk dat bij een bronafstand van 250 meter de temperatuur verder afkoelt dan 6 graden. Om die reden is gekozen is om dit stadium van deze onderlinge afstand uit te gaan.



Figuur 2-4: Berekende herstelfstand temperatuur in de Eem

## 2.4.4 Conclusies

Op basis van de gemaakte analyses zijn onderstaande conclusies getrokken:

- Het onttrekkingsdebiet per koudelozing is 180 m<sup>3</sup>/uur. Met 2600 vollasturen en een temperatuurverschil van 6 graden Celcius geeft dit een warmtepotentie van 11.750 GJ/jaar per koudelozing.
- De afstand tussen twee koudelozingen is minimaal 250 meter. De Eem heeft een lengte van 18 km. De maximale warmtepotentie als er elke 250 meter een koudelozing wordt geplaatst is 846.000 GJ/jaar.

## 2.5 Warmte-koude-opslag (WKO)

### 2.5.1 Principe

Een WKO is een open opslagsysteem dat in de zomer 'opgeladen' wordt met warmte, om deze vervolgens in de winter te gebruiken. Dit systeem zit vaak circa 80 tot 200 meter diep in de grond. De opgeslagen warmte kan gehaald worden uit het oppervlaktewater, het afvalwater, de lucht, zonnecollectoren, etc. Een WKO heeft een warme en een koude bron. De warmte wordt in de zomer geladen en in de winter onttrokken. De warmte uit de warme bron wordt gebruikt in de aangesloten woningen of gebouwen, koelt daardoor af, en wordt naar de koude bron gevoerd. Deze koude bron kan in de zomer gebruikt worden om te koelen.

Voor het installeren van een WKO moet de bodem geschikt zijn. De bodem moet een aquifer hebben om de warmte op te slaan (meestal in zandlagen). Daarnaast dient deze aquifer onder en boven een afsluitbare laag te hebben (meestal een kleilaag) zodat de warmte niet naar boven of onder kan 'lekker'. Daarnaast is voor een WKO is ook een vergunning nodig, waarbij in niet elke gebied een WKO mag worden toegepast.

Het is wettelijk verplicht om ervoor te zorgen dat de WKO in balans is. Als er warmte onttrokken wordt, moet er net zoveel warmte ook weer in de bodem gebracht worden. Een WKO is vooral interessant om op grote schaal toe te passen, omdat de kosten van een boring vrij hoog zijn. Die verdienen zich niet snel terug als de warmtevraag laag is. Nederland kent inmiddels duizenden geïnstalleerde WKO's.

### 2.5.2 Bodemanalyse

Per gemeente is op één locatie een boorprofiel geanalyseerd. Hiervoor is het model BRO-Regis II gebruikt, ontwikkeld door TNO. Met het boorprofiel in een inschatting gemaakt van de opslagcapaciteit in de bodem, wanneer er een WKO zou worden toegepast.

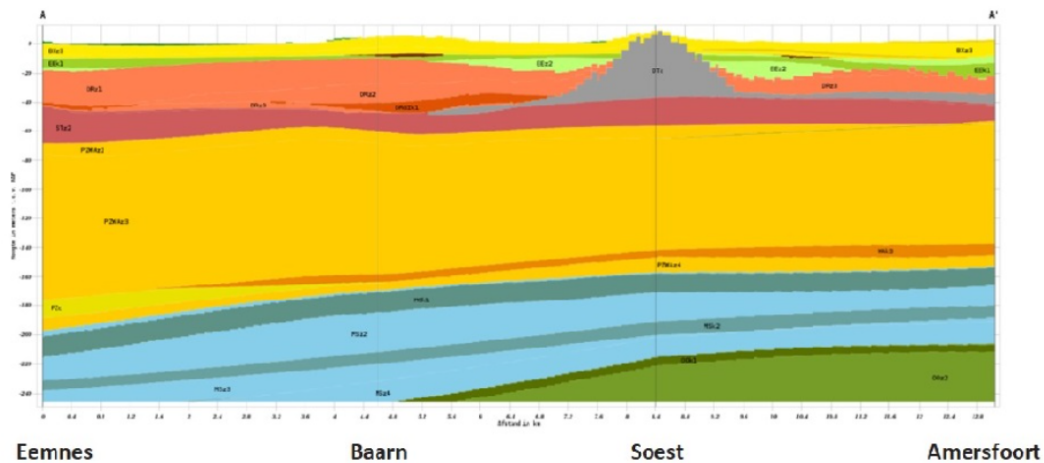
Meest geschikte aquifer is het tweede watervoerende pakket. Een combinatie van de formatie van Drenthe, formatie van Sterksel en de formatie van Peize & Waalre. Het gehele gebied is geschikt voor toepassing van een WKO. De bodempotentie is het grootst in de omgeving Eemnes, en neemt af richting Amersfoort. In Tabel 2-1 en Figuur 2-5 is dit samengevat en schematisch weergegeven.

Het maximaal vergunbare inlaatdebiet in van een WKO in Nederland bedraagt 250 m<sup>3</sup>/uur. Om die reden is voor elke gemeente de bodempotentie gelijk. De potentie per WKO dan 9.733 GJ/jaar.

In bijlage 1 is een notitie opgenomen met een gedetailleerde beschrijving van de bepaling van de WKO-capaciteit.

Tabel 2-1: Samenvatting gegevens bodemopbouw en WKO-potentie

Variabele	Eenheid	Eemnes	Baarn	Soest	Amersfoort
Dikte watervoerend pakket	[m]	134	111	106	81
Horizontale doorlaatbaarheid	[m/dag]	70	77	72	76
Filter lengte	[m]	47	44	46	45
Thermische energie	[GJ]	9.733	9.733	9.733	9.733
Thermische straal	[m]	94	97	95	96
Oppervlakte per dublettenpaar	[ha]	5,5	5,8	5,6	5,8
<b>Bodempotentie</b>	<b>[GJ/ha]</b>	<b>1.773</b>	<b>1.667</b>	<b>1.734</b>	<b>1.684</b>



Figuur 2-5: Schematische weergave bodemopbouw

### 2.5.3 Grondwaterstroming

Naast de aanwezigheid van een geschikte aquifer, is de grondwaterstroming ook van belang. Bij een te hoge grondwaterstroming is het niet mogelijk om warmte of koude op te slaan in de bodem. Het warme water stroomt dan weg voordat het in de winter kan worden gebruikt. De bovengrens voor een goed functionerende WKO is een stroomsnelheid van 50 meter per jaar.

De stroomsnelheid is afhankelijk van de horizontale doorlaatbaarheid van de bodem, de porositeit van de zandlaag en de verhanglijn van de grondwaterstanden. De horizontale doorlaatbaarheid is bekend vanuit de bodemanalyse. Voor de porositeit is een waarde aangenomen van 0,3. Dit betekent dat 30% van de bodem bestaat uit zand en 70% uit water.

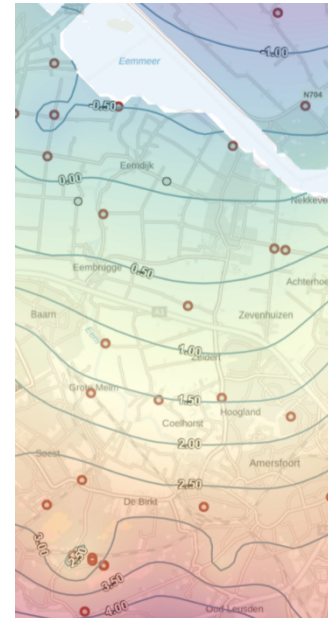


Grondwaterstanden worden gemeten door peilbuizen. Door de isohypsen van de grondwaterstanden te volgen kan de verhanglijn worden bepaald. In Figuur 2-6 zijn de isohypsen van de grondwaterstanden in het stroomgebied van de Eem weergegeven. Vanuit deze analyse volgt ook de stromingsrichting, deze is richting het Eemmeer vanuit het zuiden.

In het gebied is een grondwaterstroming van ongeveer 40 meter per jaar bepaald. Dit is aan de hoge kant, wat van invloed zal zijn op het thermisch rendement van het WKO-systeem. Een WKO kan worden toegepast, maar er zal hier mee rekening gehouden moeten worden bij het gedetailleerde ontwerp.

### 2.5.4 Wettelijke beperkingen

Er zijn verschillende typen gebieden waar beperkingen gelden voor de toepassing van bodemenergie. Dit is onderverdeeld in verbodsgebieden, restrictiegebieden en aandachtsgebieden. Op de kaart hieronder zijn de locaties te bekijken waar beperkingen van toepassing zijn. Afhankelijk van het type gebied is het verboden om een WKO toe te passen of moet het ontwerp aan bepaalde randvoorwaarden voldoen.



Figuur 2-6: Isohypsenpatroon onderzoeksgebied

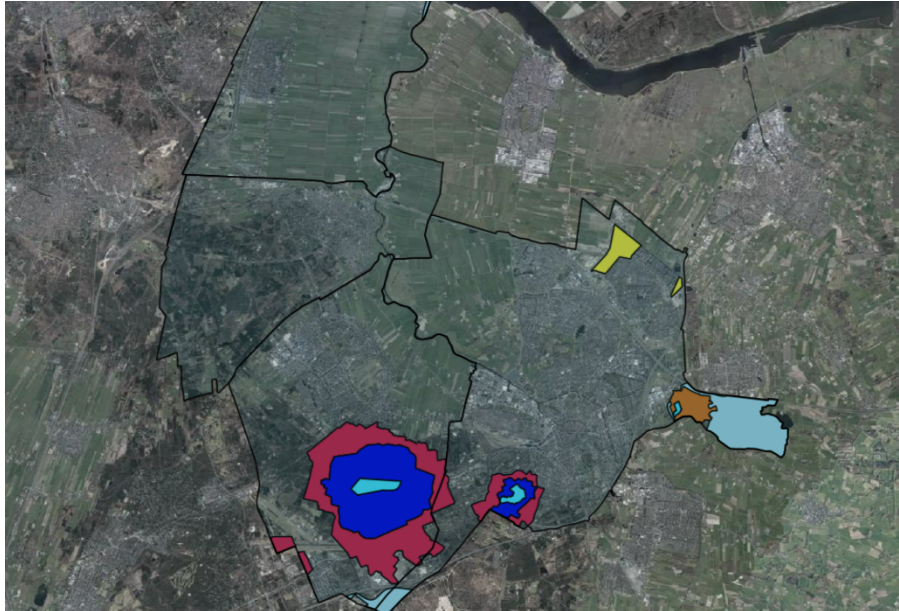
#### Verbodsgebieden

Grondwater beschermingszones: De grondwater voorraad wordt beschermd ten behoeve van de winning van drinkwater.

#### Restrictiegebieden

- Strategische grondwatervoorraad: Een deel van de grondwatervoorraad is door de provincie aangemerkt als potentieel toekomstige drinkwater wingebieden. In deze gebieden dient extra rekening gehouden te worden dat de kwaliteit van het grondwater niet wordt aangetast als gevolg van een bestemmingsplan
- Ordening: Gebieden gereserveerd door gemeenten ten behoeve van bestaande of eventuele toekomstige bodemenergieplannen

In Figuur 2-7 zijn de verbods- en restrictiegebieden weergegeven. In de [digitale MapTour](#) kunnen de gegevens meer in detail worden bekeken.



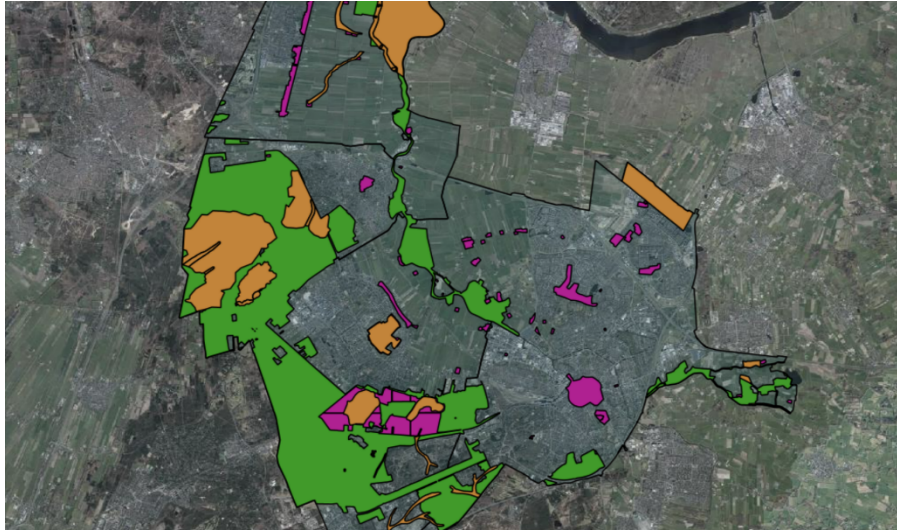
*Figuur 2-7: Verbods- en restrictiegebieden in het onderzoeksgebied*

### 2.5.5 Aandachtsgebieden

Bij het ontwerp en aanvraag van het WKO-systeem dient rekening gehouden te worden met deze gebieden. Het belang van deze locaties leidt niet direct tot een verbod van een WKO, maar er kunnen wel aanvullende voorwaarden gelden die meegenomen moeten worden bij de verdere ontwikkeling van een WKO in een bepaald gebied:

- Natuur: De natuurgebieden omvatten de Natuur Netwerk Nederland (NNN) gebieden
- Aardkundige waarden: Dit zijn kwaliteiten van landschap en natuur die iets vertellen over het ontstaan van het landschap. In unieke gevallen kan een aardkundig monument een gebiedsgebied zijn
- Archeologie: Plaatsen waar kans is op archeologische vondsten dichtbij het maaiveld. Deze gebieden dienen niet nadelig beïnvloed te worden bij toepassing van een WKO-systeem

In Figuur 2-8 zijn de aandachtsgebieden weergegeven. In de [digitale MapTour](#) kunnen de gegevens meer in detail worden bekeken.



Figuur 2-8: Aandachtsgebieden binnen het onderzoeksgebied

## 2.6 Potentie riothermie

De rioolwaterzuivering (RWZI) in de gemeente Soest is in het beheer van waterschap Vallei & Veluwe. Deze RWZI ligt tussen de gemeentes Baarn en Soest, wat een mogelijke kans is voor samenwerking tussen de gemeentes. Daarom wordt in deze studie in het kort de warmtepotentie van de RWZI bepaald. Er wordt niet ingegaan op een conceptueel ontwerp van warmteuitkoppeling uit deze bron.

### 2.6.1 Wat is riothermie?

Riothermie is een techniek waarmee thermische energie uit afvalwater kan worden gewonnen. Hiertoe wordt een warmtewisselaar in de riolering of aan de buiswand geplaatst waarmee warmte of koude wordt gewonnen uit het rioolwater. Bij het winnen van warmte wordt het rioolwater afgekoeld, bij het winnen van koude wordt het rioolwater warmer. Door de warmtewisselaar stroomt een transportvloeistof die de afgegeven warmte van het rioolwater transporteert naar een warmtepomp. De temperaturen zijn nog relatief laagwaardig als ze bij de vloeistof bij de warmtepomp aan komt. De warmtepomp brengt de temperatuur daarna echter naar een bruikbaar niveau.

De mogelijkheid voor riothermie is sterk afhankelijk van de lokale aanwezigheid van vraag en aanbod van warmte. Aan de aanbodzijde moet voldoende thermische energie aanwezig zijn. Hiervoor zijn de parameters debiet en temperatuur van het rioolwater van belang. De afnemer dient in de buurt te zijn van het aanbod, zodat er minimale warmteverlies en kosten nodig zijn. De afstand tussen aanbieder en afnemer is daarom medebepalend voor de economische haalbaarheid van een project. Andere factoren als infrastructuur en bebouwing zijn daarbij ook bepalend voor de maximale rendabele afstand.

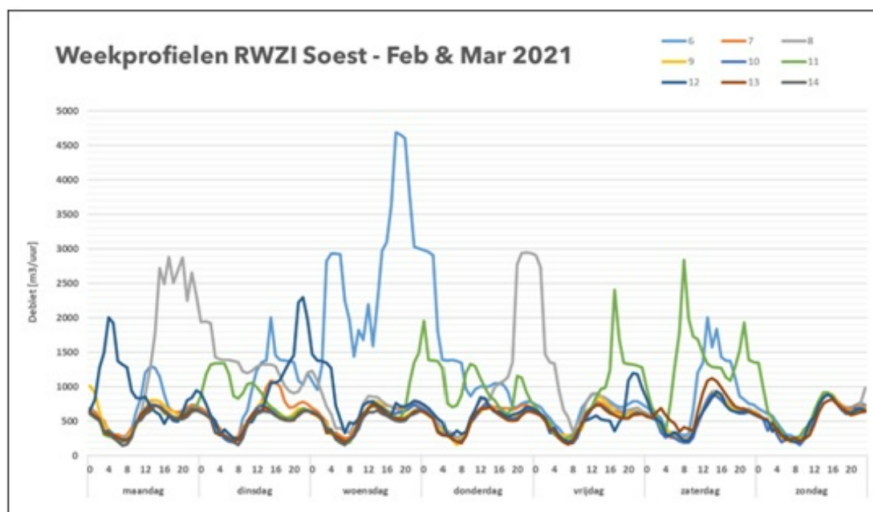
## 2.6.2 Bepaling warmtepotentie

De hoeveelheid energie die uit het effluent van de RWZI gewonnen kan worden is afhankelijk van de volumestroom (debiet) en het aantal graden (delta T) dat het afvalwater kan worden afgekoeld. Voor het potentieel uit het effluent wordt het winbare energiepotentieel bepaald aan de hand van het droogweerafvoer (dwa); dit is het debiet als het niet regent. Er wordt een temperatuurdaling van 5 °C voor het effluent gehanteerd.

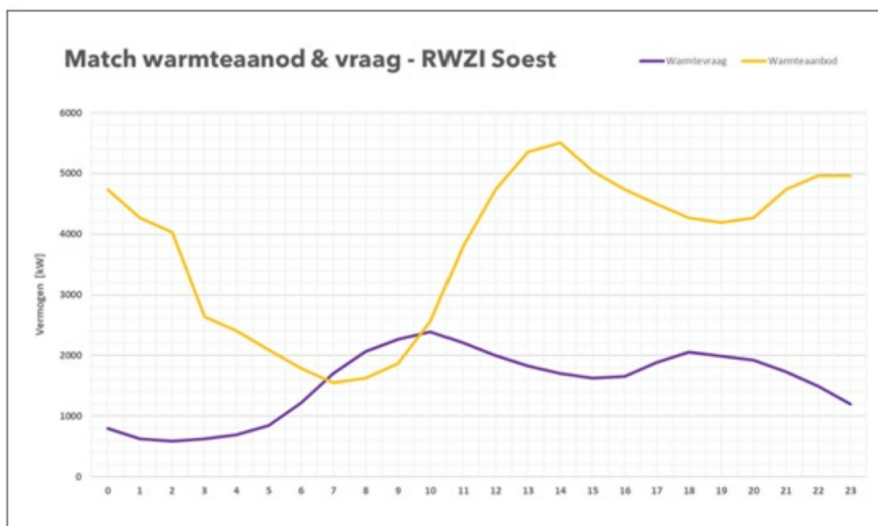
Om de warmtepotentie te bepalen uit het effluent, is uurdata aangeleverd van het debiet vanuit het waterschap Vallei & Veluwe. Specifiek is gekeken naar het aanbod in de wintermaanden, aangezien in die periode woningen de grootste warmtevraag hebben.

## 2.6.3 Debietanalyse

Vanuit Figuur 2-9 valt te zien dat er een dagelijks terugkerend profiel bestaat. Over het algemeen is er een piek in het debiet te zien rond de middag en in de avonden. Voor de bepaling van het beschikbare debiet is een waarde genomen in de ochtenduren waarvan uit kan worden gegaan dat dit altijd beschikbaar is (ook op droge dagen). Vervolgens is hiermee het vermogen berekend dat op elk moment van de dag beschikbaar is, zoals te zien in de Figuur 2-10. Dit vermogen is gematcht met het profiel van de warmtevraag van een typische woning. Vaak is er in de ochtenduren nog een verschil tussen het warmte-aanbod en de warmtevraag van de woningen. Om die reden is een buffer of piekvoorziening nodig om in die uren voldoende warmte te kunnen leveren.



Figuur 2-9: Debietanalyse RWZI Soest



Figuur 2-10: Berekend potentieel vermogen

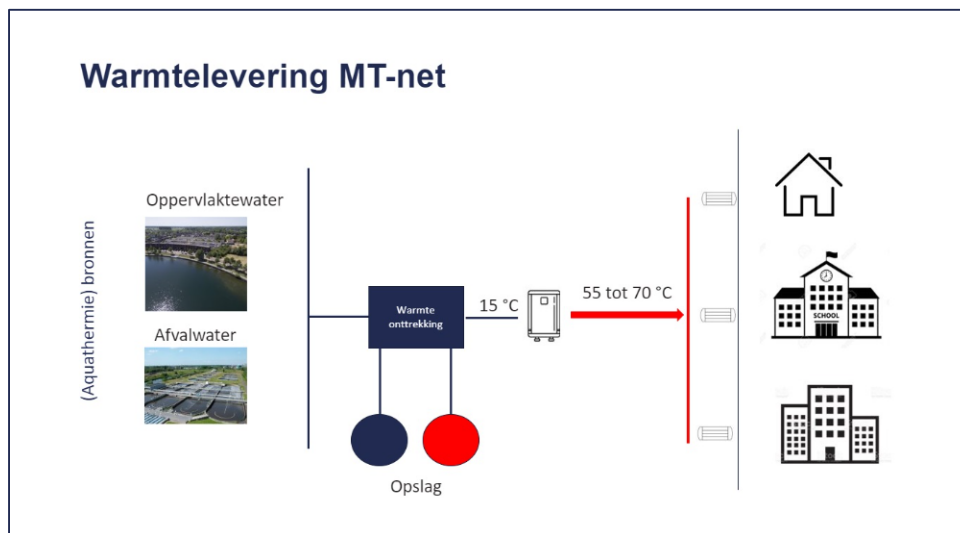
## 2.6.4 Conclusies

Het debiet dat bij directe levering kan worden gewonnen is 260 m<sup>3</sup>/uur. Er is een buffer nodig op de locatie om het tekort aan debiet in de ochtend te overbruggen. Het beschikbare debiet vertaalt zich in een bronvermogen van 1.509 kW. Rekening houdend met een WKO-rendement van 72%, een warmtepomp met een COP van 4,0 een 8000 vollasturen betekent dit een jaarlijks warmtepotentie van ongeveer 42.000 GJ/jaar. Bij directe levering kan er genoeg warmte gewonnen worden voor ongeveer 335 woningen. Bij gebruik van een WKO kan dit oplopen tot 1.100 woningen.

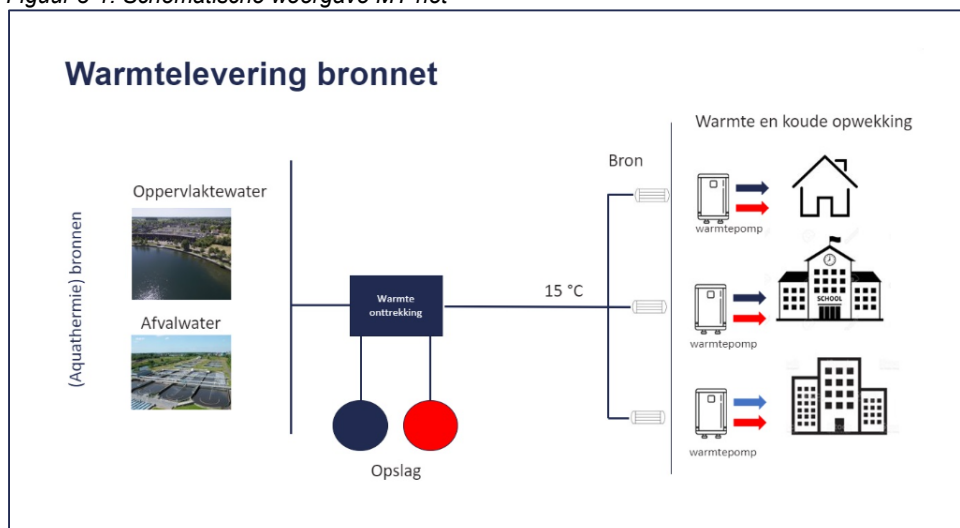
## 3 Fase 2: Selectie kansrijke wijken

### 3.1 Type warmtenet

Bij de bepaling van de haalbaarheid van een collectief systeem met warmte uit de Eem hoort een belangrijke keuze, namelijk welk type warmtenet wordt doorgerekend voor een bepaalde wijk. Aangezien de Eem een lage temperatuur warmtebron aanlevert, kan een keuze gemaakt worden om voor een bronnet te kiezen, in plaats van een midden temperatuur net. De verschillen in de typen systemen zijn weergegeven in Figuur 3-1 en in Figuur 3-2.



Figuur 3-1: Schematische weergave MT-net



Figuur 3-2: Schematische weergave bronnet

In de volgende subparagrafen worden een aantal voordelen van het bronnetstelsel genoemd ten opzichte van een MT-net.

### 3.1.1 Een duurzamer systeem

Er is zeer beperkt warmteverlies aan de bodem via het leidingwerk. Daardoor hebben de leidingen geen isolatie nodig waardoor ze relatief goedkoop zijn.

De levensduur van de leidingen is langer (100 jaar in plaats van 40 jaar). Daarnaast is de aanleg van de leidingen veiliger, en neemt het minder ruimte in beslag in de ondergrond.

Efficiëntere opwek; De warmtepomp hoeft het water tot een lagere temperatuur op te werken dan bij een MT- net. Hierdoor is de COP relatief hoger. Dit maakt het systeem relatief duurzamer.

Het systeem kan passief koeling leveren aan woningen. Om dit mogelijk te maken zijn er wel aanpassingen nodig in de woning. Warmte opgenomen uit woningen kan vervolgens wel worden gebruikt om het bodemenergiesysteem op te laden.

### 3.1.2 Flexibiliteit voor bewoners

Het warmtenet kan in fases worden aangesloten in clusters van ongeveer 400 woningen. Zodra een cluster is aangesloten op het bronnet kunnen bewoners op een natuurlijk moment besluiten om aan te sluiten (bijvoorbeeld wanneer isolatie maatregelen zijn toegepast, of wanneer de cv-ketel vervangen moet worden).

Bewoners worden beloond voor het nemen van isolatiemaatregelen. Isolatiemaatregelen en investeringen in een warmtepomp zijn een positieve business case op voor bewoners. De jaarlijkse energiekosten zijn namelijk een stuk lager in vergelijking met een cv-ketel.

### 3.1.3 Algemene criteria woonwijken voor haalbaarheid van een bronnet

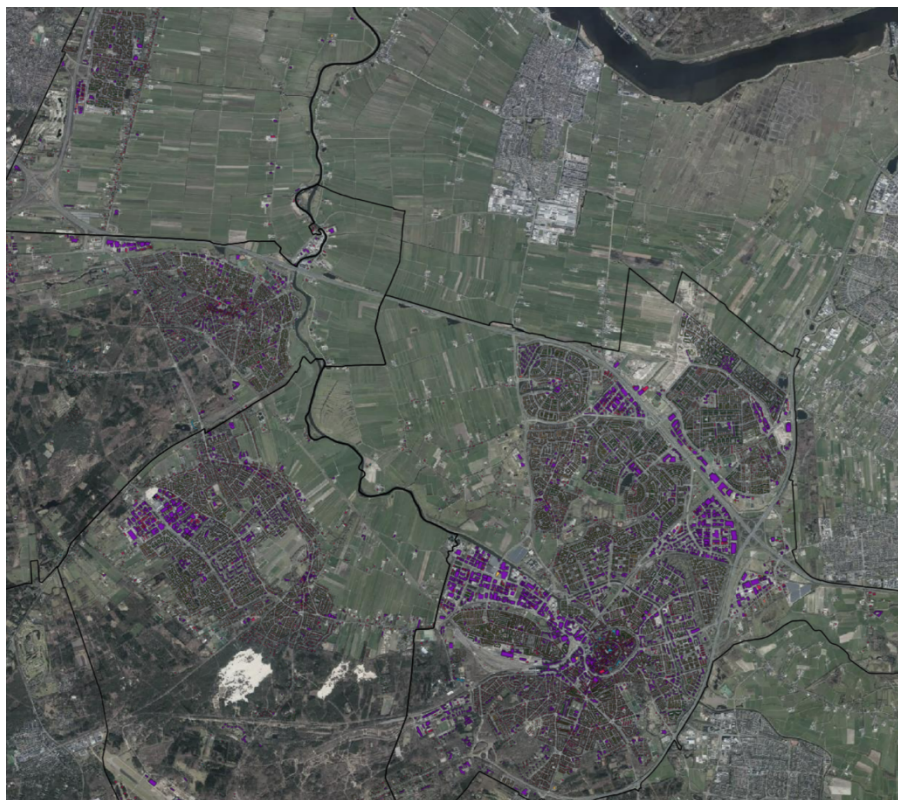
Als algemene criteria voor de haalbaarheid van een bronnet worden gehanteerd:

- Hoge dichtheid van de bebouwing
- Middelgrote woningen (recent bouwjaar) - direct aansluitbaar
- Middelgrote woningen (tussen 1960 en 1990) - na isolatie maatregelen
- Kleine afstand naar de Eem
- Mogelijkheid tot uitbreiding van het warmtenet naar andere wijken

## 3.2 Warmtevraag per woning

Voor elk pand binnen de gemeentes betrokken bij het onderzoek is de warmtevraag ingeschat. In de kaart hieronder is zodanig te zien welke wijken een hoge warmtevraag hebben ten opzichte van andere wijken. De warmtevraag is bepaald aan de hand van de Vesta MAIS methode van PBL. Deze methode is ontwikkeld om aan de hand van bekende gegevens uit de Basisregistratie Adressen en Gebouwen (BAG) een inschatting te maken van de warmtevraag. Deze methode is gecombineerd met bekende gegevens van het CBS van gasverbruiken uit 2018. Hierbij wordt rekening gehouden met het bouwjaar, oppervlakte, woningtypering, gebouwfunctie en het aantal verblijfsobjecten.

In Figuur 3-3 is de warmtevraag van de woningen weergegeven. In de [digitale MapTour](#) kunnen de gegevens meer in detail worden bekeken.

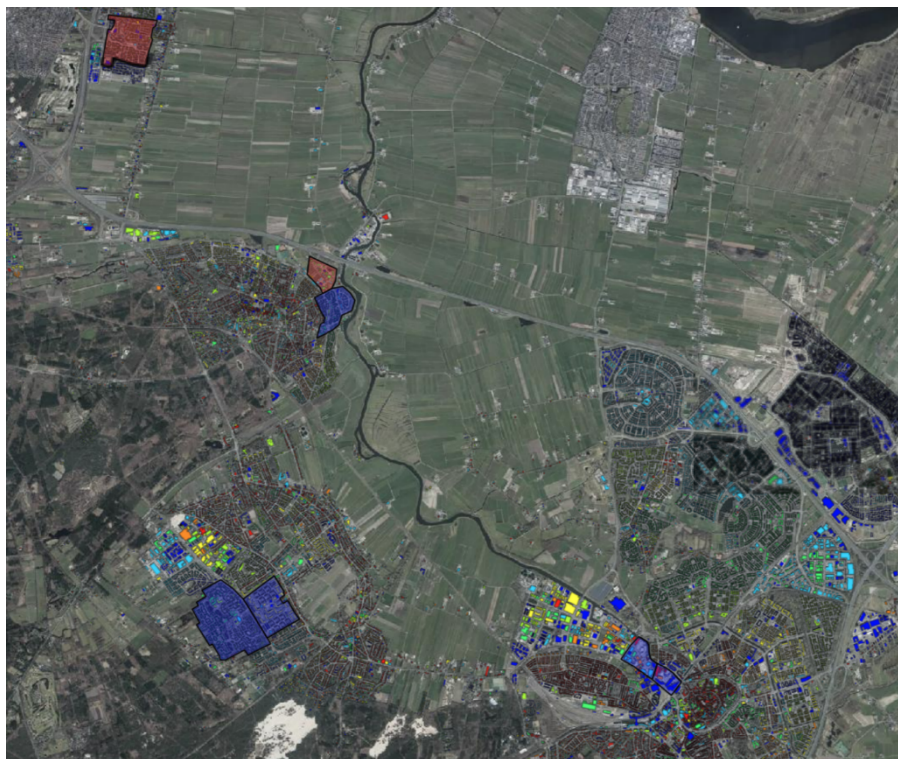


*Figuur 3-3: Warmtevraag woningen*

### **3.3 Selectie kansrijke wijken**

Om de onderzoeksvragen te kunnen beantwoorden, is er gekozen om per gemeente voor 1 à 2 wijken de haalbaarheid van aquathermie uit de Eem in meer detail te onderzoeken. Voor deze wijken wordt in het vervolg van het onderzoek een globale business case opgesteld. Bij de keuze van de wijken hoort ook een keuze met welk type warmtenet wordt gerekend. In Figuur 3-4 zijn de geselecteerde wijken aangegeven met een de kleur van het type warmtenet dat zal worden doorgerekend. In de [digitale MapTour](#) kunnen de gegevens meer in detail worden bekeken.





Figuur 3-4: Geselecteerde kansrijke wijken

Voor de selectie van deze wijken is input opgehaald bij de gemeente en de selectie is besproken tijdens de 2e werksessie. Hieruit kwam naar voren dat bij de gemeentes Baarn en Amersfoort er al een aantal wijken zijn aangewezen als wijken waar TEO potentieel kansrijk is. Daarnaast bleek tijdens de 2e werksessie ook dat er vraag is vanuit de gemeentes om het verschil in haalbaarheid van een MT-net en een bronnet aan te geven. Daarom is voor 2 wijken gekozen om een MT-net én een bronnet door te rekenen. Ook zijn er een aantal wijken gekozen die dichtbij de Eem liggen, terwijl er ook voor wijken is gekozen die ver van de Eem af liggen. Zo wordt in beeld gebracht in welke mate de afstand tot de Eem een factor is voor de haalbaarheid.

### 3.3.1 Wijk kenmerken

In Figuur 3-5 zijn een aantal wijkkenmerken samengevat. Voor de bestaande bouw gaat dit om de verdeling van de geregistreerde energielabels en de bouwjaren. Voor de wijken in Amersfoort gaat het om nieuwbouwprojecten. Voor de warmtevraag is uitgegaan van de minimale BENG (bijna energieneutrale gebouwen) normen.

*Verdeling energielabels:* Er is gekozen voor wijken met een relatief hoog energielabel, van minstens gemiddeld C. Wijken met een hoog gemiddeld energielabel hebben een grotere kans op een succesvolle business case, aangezien woningen direct kunnen aansluiten op een bronnet. Let wel, niet alle woningen in de wijken hebben een geregistreerd energielabel, daarnaast heeft het energielabel ook geen directe correlatie met het isolatieniveau van een woning.

**Bouwjaren:** Naast de energielabels geven de bouwjaren ook een indicatie van het isolatieniveau. Voor oudere woningen van zijn de kosten voor isolatiemaatregelen ook een stuk hoger, aangezien er bijvoorbeeld nog niet grootschalig spouwmuren werden toegepast voor 1960. Met hoge kosten voor het isoleren is de kans kleiner dat het voor een bewoner gunstig is om op een bronnet aan te sluiten. Om die reden is ook gekozen voor wijken met een hoger bouwjaar dan 1960.

**Warmtevraag:** Per wijk is een cluster gekozen waarvoor de business case zal worden doorgerekend. De warmtevraag is gebaseerd op de som van de warmtevraag van de individuele woningen in een cluster. Hiermee is rekening gehouden dat het bronnet in meerdere fases zou worden aangelegd in grote wijken.



Figuur 3-5: Wijkenmerken van de geselecteerde wijken

## 4 Fase 3: Economische haalbaarheid

### 4.1 Uitgangspunten en opzet van de businesscase

Dit hoofdstuk beschrijft de uitgangspunten voor de bepaling van de financiële haalbaarheid. De investeringskosten bestaan voor elke wijk uit 5 onderdelen. Afhankelijk van de wijk karakteristieken worden de kosten berekend voor elk onderdeel. Deze aanpak is voor elke wijk toegepast.

#### 4.1.1 TEO Warmtewinning

Op basis van de warmtevraag van de wijk en het onttrekkingsdebiet uit De Eem is berekend hoeveel op basis van de warmtevraag van de wijk en het onttrekkingsdebiet uit De Eem is berekend hoeveel warmtewinningspunten er nodig zijn. Er is gerekend met een onttrekkingsdebiet van 180 m<sup>3</sup>/uur, zoals bepaald in fase 1 van dit onderzoek. Vervolgens is het benodigde leidingwerk, de warmtewisselaars en circulatiepompen berekend op basis van het onttrekkingsdebiet.

#### 4.1.2 Bronleiding

De bronleiding is de leiding die nodig is om de gewonnen warmte te vervoeren vanaf de warmtewisselaar richting de WKO. Vooral bij de gemeente Eemnes spelen deze kosten een grote rol, door de grote afstand tussen de woningen en de Eem. De aanpak voor de kosten van het leidingwerk zijn vergelijkbaar met de aanpak voor de kosten van het leidingwerk voor TEO warmtewinning. Ook de kosten voor de circulatiepompen zijn meegenomen.

#### 4.1.3 Warmte- koude opslag

Via de bepaalde opslagcapaciteit in de bodem is berekend hoeveel WKO's er nodig zijn per wijk. Ook is er rekening gehouden met de plaatsing van een extra WKO voor de back-up voorziening. De kosten van de WKO zijn geschaald naar het benodigde infiltratiedebiet. Er is rekening gehouden met een maximale grootte van een WKO met een debiet van 250 m<sup>3</sup>/uur.

#### 4.1.4 Warmte-wijk station

Om het water door het bronnet te vervoeren zijn er pompen nodig die geïnstalleerd worden in een warmte-wijk station. Vanuit de WKO wordt het water vervolgens verpompt richting de woningen. Naast kosten voor de pompen zijn bouwkundige kosten, elektrotechniek, regeltechniek en kosten voor de technische ruimte ingeschat.

#### 4.1.5 Ontwerp warmtetracé bronnet / MT net

Een belangrijke kostenpost is de aanleg van het bronnet. Via het rekenprogramma Comsof Heat is een berekening gemaakt van de minimale leidingdiameter die elke woning nodig heeft. Deze berekening is gemaakt voor een deel van de geselecteerde wijken. Vanuit daar zijn de kosten voor het overige deel van de wijk geëxtrapoleerd. Voor de nieuwbouwwijken van Amersfoort zijn de leidingkosten geschaald naar het aantal woningen en de woningdichtheid.

In Tabel 4-1 zijn de CAPEX kosten samengevat. In Figuur 4-1 zijn enkele voorbeelden van doorgerekende warmtenetten opgenomen.

Tabel 4-1: Samenvatting CAPEX-kosten

CAPEX per post	Baarn – Eemdal Noord	Baarn – (MT) Bedrijventerrein	Eemnes – Zuidbuurt	Eemnes – (MT) Zuidbuurt	Soest – Smitsveen	Soest – de Zoom	Amersfoort – Nieuwe Stad	Amersfoort – Kop van Iselt
TEO Warmtewinning	932.000	460.000	907.000	932.000	927.000	872.000	842.000	887.000
Bronleiding	229.000	207.000	3.667.000	4.086.000	3.487.000	2.733.000	70.000	112.000
Warmte- koude opslag	1.110.000	775.000	1.000.000	1.000.000	1.100.000	770.000	495.000	830.000
Warmte-wijk station	256.000	666.000	249.000	2.107.000	256.000	237.000	229.000	241.000
Leidingwerk warmtetracé	3.120.000	1.707.500	3.450.000	3.340.000	2.020.000	1.480.000	1.460.000	1.680.000
Onvoorzien (15%)	847.000	572.000	1.391.000	1.720.000	1.169.000	914.000	464.000	563.000
<b>CAPEX Subtotaal</b>	<b>6.500.000</b>	<b>4.400.000</b>	<b>10.650.000</b>	<b>13.200.000</b>	<b>8.950.000</b>	<b>7.000.000</b>	<b>3.550.000</b>	<b>4.300.000</b>
Projectmanagement (10%)	650.000	440.000	1.065.000	1.320.000	895.000	700.000	355.000	430.000
Engineering & vergunningen (15%)	975.000	660.000	1.598.000	1.980.000	1.343.000	1.050.000	533.000	645.000
Winst & Risico (10%)	813.000	550.000	1.331.000	1.650.000	1.119.000	875.000	444.000	538.000
<b>CAPEX Totaal</b>	<b>8.950.000</b>	<b>6.050.000</b>	<b>14.650.000</b>	<b>18.150.000</b>	<b>12.300.000</b>	<b>9.650.000</b>	<b>4.900.000</b>	<b>5.900.000</b>
Kosten per woning	9.600	100.000	20.600	25.500	18.000	26.000	7.200	8.400



Figuur 4-1: Doorgerekende warmtenetten

## 4.2 Woningaanpassingen

Om een woning geschikt te maken voor lage temperatuurverwarming moet een aantal aanpassingen gedaan worden aan de woning. Een inschatting van de kosten per onderdeel is gemaakt in Tabel 4-2. Een belangrijke kanttekening is dat deze inschatting gemaakt is voor een gemiddelde woning. Per woning kunnen de benodigde aanpassingen en kosten echter flink verschillen. Ook geeft het de subsidiemogelijkheden voor woningen. De hoogte van de subsidie is afhankelijk van de gemaakte isolatiekosten en het benodigde vermogen van de warmtepomp.

### 4.2.1 Individuele water/water warmtepomp

Een water/water warmtepomp gebruikt het water vanuit het bronnet voor verwarming en koeling van het huis. In deze studie is het aspect van koeling echter niet meegenomen. Het bereik van warmtepompen ligt maximaal op 65 °C. Dit is een groot verschil met typische temperaturen (70 °C – 90 °C) die worden bereikt door middel van verwarmen met een cv-ketel. De consequenties hiervan zijn dat er meerdere woningaanpassingen nodig zijn om het huis geschikt te maken voor verwarming op lage temperatuur.

### 4.2.2 Isoleren

Hoe beter een huis is geïsoleerd, hoe lager de verwarmingstemperatuur hoeft te zijn te zorgen voor het juiste comfort in een woning. Bij een te groot gebrek aan isolatie is het voor een warmtepomp niet mogelijk om de woning op temperatuur te houden. Voor bestaande woningen met een energielabel lager dan C geldt daarom dat isolatie nodig zijn. Als voorbeeld wordt bij een isolatiestap van label D naar label B ongeveer 20% aan energie bespaard voor ruimteverwarming (Planbureau voor de Leefomgeving, 2020).

### 4.2.3 Afleverset

Dit betreft de kosten voor de connectie tussen de woning en het warmtenet door leidingwerk in te passen. In de business case is uitgegaan dat deze wordt gehuurd van de projectinvesteerder.

### 4.2.4 Lage temperatuur radiatoren

Een voorwaarde voor het verwarmen op lage temperatuur is dat het vermogen van het afgiftesysteem in je woning is afgestemd op de aanvoertemperatuur. Momenteel zijn de radiatoren gedimensioneerd op afgifte bij hogere temperaturen. Om de woning geschikt te maken dienen er lage temperatuur (LT) radiatoren aangeschaft te worden. Het afgiftesysteem kan ook worden uitgebreid met vloerverwarming, echter is dit in de praktijk vaak kostbaar. Bij de business case is uitgegaan van LT-radiatoren, aangezien vloerverwarming geen vereiste is voor een goed werkend verwarmingssysteem.

Tabel 4-2: Kosten woningaanpassing

Woningaanpassing	Kosten
WW Warmtepomp (incl. installatie)	€8.000,-
Isolatiemaatregelen (label D naar label B)	€5.000,-
Afsluiter voor de deur incl. afleverset	-
LT radiatoren	€1.500,-
Inductiekoken	€700,-
Aanpassen meterkast (3 fase aansluiting)	€800,-
<b>Totaal</b>	<b>€16.000,-</b>

Subsidie	Waarde
ISDE: Subsidie Warmtepomp (13 kW)	€3.900,-
ISDE: Subsidie Isolatie	€1.500,-
ISDE: Aansluiting op een warmtenet	€3.325,-
<b>Totaal</b>	<b>€8.725,-</b>

#### 4.2.5 Koken op inductie en aanpassen meterkast

Koken op inductie en aanpassen meterkast: Aangezien de woningen aardgasvrij worden gemaakt zal er elektrisch gekookt moeten worden. Deze dienen op een eigen groep te worden aangesloten in de meterkast. In de meterkast kan daarnaast ook nog een aanpassing gemaakt worden naar 3 fase aansluiting, zodat er altijd voldoende stroom richting de warmtepomp gaat.

### 4.3 Bijdrage Aansluitkosten (BAK)

Voor de verschillende wijken zijn de bijdrage aansluitkosten (BAK) per woonaansluiting berekend die nodig zijn om de netto constante waarde (NCW) over 30 jaar net positief te krijgen. In Tabel 4-3 zijn investeringskosten (CAPEX), operationele kosten per jaar (OPEX) en de benodigde BAK. Deze is uitgesplitst in het scenario met subsidie inkomsten en zonder subsidie inkomsten.

Voor de nieuwbouwwijken van Amersfoort en de het bedrijventerrein van Baarn zijn de resultaten van de business case minder accuraat dan voor de overige wijken. Er is gerekend met algemene aannames die accuraat zijn voor woonwijken met bestaande woningen. Voor de nieuwbouwwijken in Amersfoort zijn er nog geen concrete plannen, waarmee ook onzekerheid ontstaat over de businesscase voor een eventueel warmtenet. Voor het bedrijventerrein is het resultaat positief doordat de berekende warmtevraag op het terrein erg hoog is (bij een MT-net wordt er per GJ geleverde warmte betaald, dus dit betekent meer inkomsten). De warmtevraag op het terrein kan echter zeer afhangen van de typen bedrijven die aanwezig zijn. De onzekerheid in het resultaat is om die reden zeer groot.

Tabel 4-3: Berekening CAPEX, OPEX en BAK per wijk

Gemeente + Wijk	Type warmtenet	CAPEX	OPEX	BAK excl. subsidie	Subsidie inkomsten	BAK incl. subsidie
Baarn – Eemdal Noord	Bronnet	8.950.000	254.000	3.300	5.568.000	0
Baarn – Bedrijventerrein	MT net	6.050.000	523.000	0	-	-
Eemnes – Zuidbuurt	Bronnet	14.650.000	336.000	20.500	4.266.000	13.500
Eemnes – Zuidbuurt	MT net	18.150.000	1.007.000	10.100	4.266.000	3.100
Soest – Smitsveen	Bronnet	12.300.000	325.000	17.900	4.092.000	10.900
Soest – de Zoom	Bronnet	9.650.000	225.000	30.400	2.226.000	23.400
Amersfoort – Nieuwe Stad	Bronnet	4.900.000	110.000	0	-	-
Amersfoort – Kop van IJssel	Bronnet	5.900.000	165.000	1.000	-	-

In bijlage 2 is een notitie opgenomen, waarin een toelichting op de economische parameters en de rekenregels is gegeven.

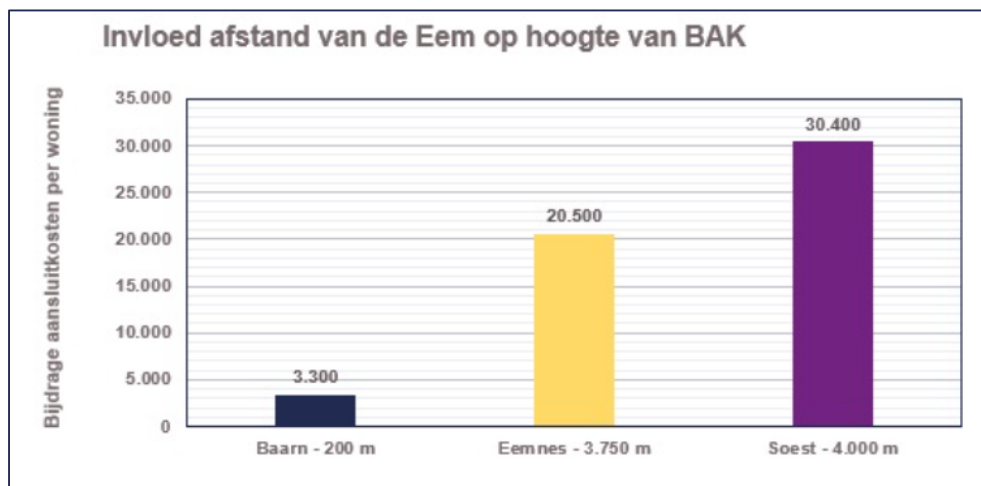
## 4.4 CAPEX-subsidie

Het is de verwachting dat er in het tweede kwartaal van 2023 een CAPEX-subsidie zal worden aangekondigd voor warmtenetten: de Warmte Infrastructuur Subsidie (WIS). De subsidieregeling moet nog worden gepubliceerd. Waarschijnlijk gaat het om een bijdrage van 6.000 EUR per woningaansluiting. Dit geldt voor zowel bronnetten als MT-warmtenetten. Hiermee is de benodigde BAK per aansluiting lager, waarmee de haalbaarheid van het project groter wordt. De subsidie zal niet gelden voor nieuwbouwprojecten en bedrijventerreinen.

## 4.5 Conclusies uit de businesscase

### 4.5.1 Invloed afstand tot Eem

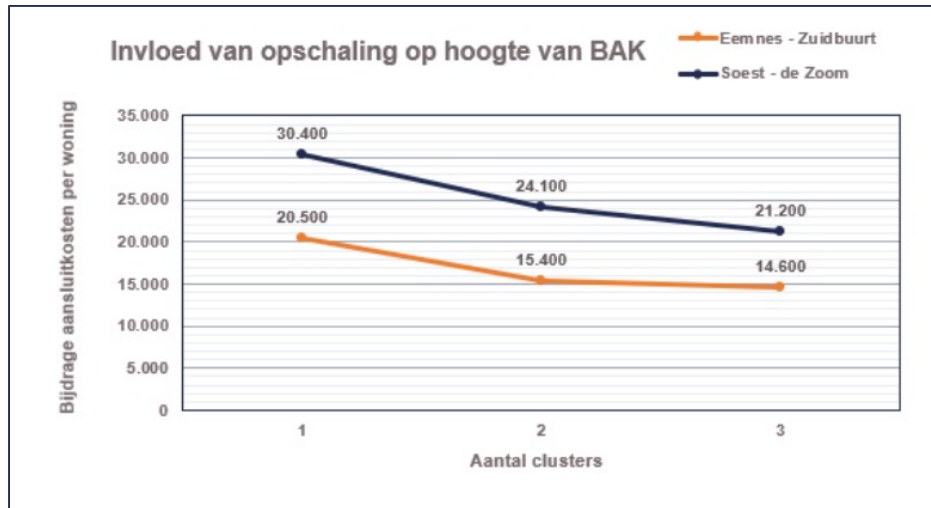
Uit Figuur 4-2 blijkt dat de kosten van de bronleiding tussen de Eem en de WKO is van grote invloed op de haalbaarheid van de business case. De wijken van Baarn, Eemnes & Soest zijn voor de overige kenmerken erg vergelijkbaar.



Figuur 4-2: Invloed van de afstand tot de Eem

### 4.5.2 Invloed van opschaling

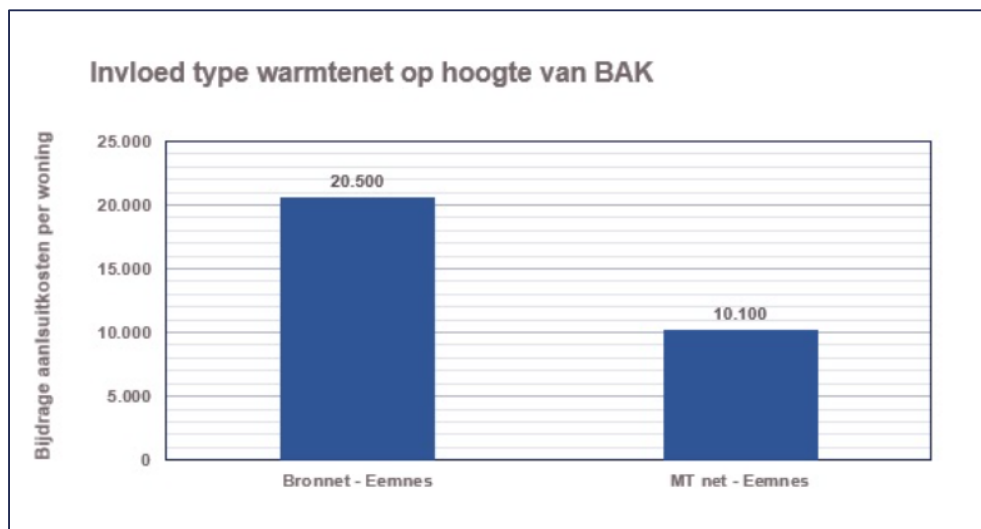
Voor de gemeentes met een grote afstand tot de Eem is de opschaling van grote invloed, zoals in Figuur 4-3 weergegeven. Met opschaling wordt bedoeld dat de diameter van de bronleiding direct wordt gedimensioneerd voor meerdere clusters. Deze leiding moet een grotere diameter hebben als er meer woningen worden aangesloten wat extra kosten met zich meebrengt. De kosten van de bronleiding kunnen dan echter wel terugverdiend door een groter aantal woningen. Het resultaat is dat de benodigde BAK per woning kleiner wordt.



Figuur 4-3: Invloed van opschaling

#### 4.5.3 Invloed type warmtenet

Met de gehanteerde ACM-tarieven van 2022 zijn de jaarlijkse inkomsten groter bij een MT-net dan bij een bronnet. Om deze reden worden de gemaakte investeringen sneller terugverdiend en is de benodigde BAK per woning lager. Echter zal op de volgende pagina blijken dat de jaarlijkse kosten voor de bewoner een stuk hoger zijn bij een MT-net vergeleken met een bronnet. Eén en ander is weergegeven in Figuur 4-4.



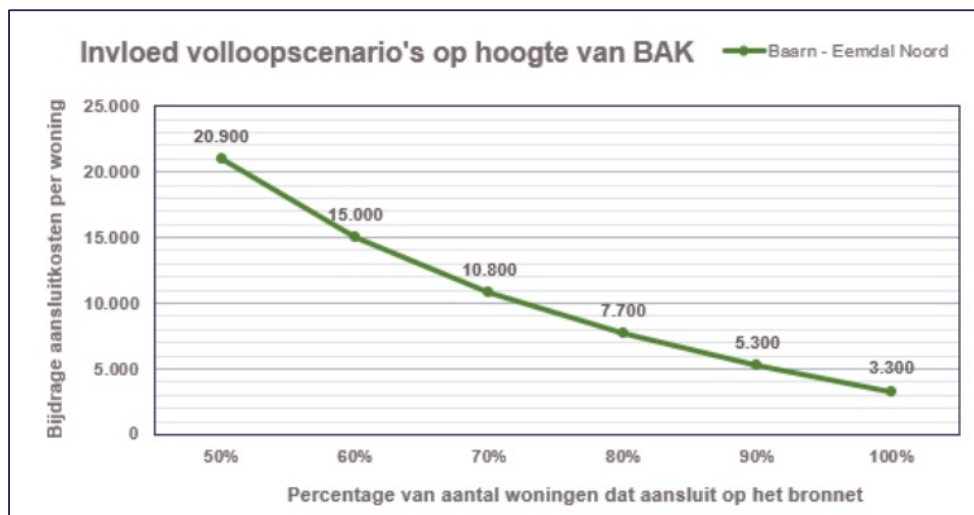
Figuur 4-4: Invloed op type warmtenet

#### 4.5.4 Invloed vollooptscenario's

In de berekening van de benodigde BAK voor de verschillende wijken is uitgegaan dat alle woningen in een cluster direct op jaar 1 aansluiten op het bronnet. In praktijk is dit echter onwaarschijnlijk. Niet elke



woning zal direct kunnen of willen aansluiten. Figuur 4-5 laat zien wat het effect is op de benodigde BAK als minder woningen willen aansluiten.

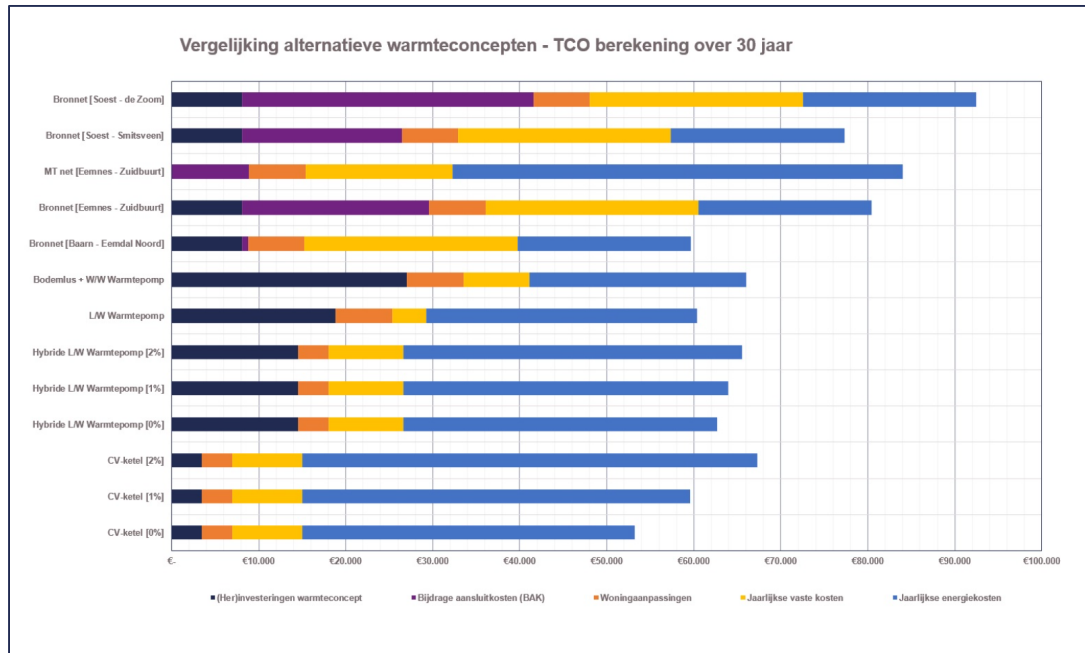


Figuur 4-5: Invloed van volloopscenario

## 4.6 Vergelijking met andere warmteconcepten

### 4.6.1 Bestaande bouw

Figuur 4-6 geeft een vergelijking met alternatieve energietechnieken vanuit het perspectief voor bewoners. De figuur laat de totale kosten zien voor de bewoner over 30 jaar (total costs of ownership). Hiermee kunnen bronnet / MT-net scenario's worden vergeleken. Het blijkt dat de hoogte van de BAK niet te hoog moet zijn om qua kosten competitief te blijven met overige individuele technieken.



Figuur 4-6: Vergelijking energieconcepten

*(Her)investeringen warmteconcept* betreft de kosten voor de aanschaf van de installatie van een cv-ketel en/of warmtepomp. Afhankelijk van het warmteconcept zijn herinvesteringen geraamd en meegenomen in de kosten. Het bedrag is wanneer relevant inclusief de ISDE-subsidie voor de investeringskosten in een warmtepomp.

De *bijdrage aansluitkosten (BAK)* zijn de kosten voor het de aansluiting op het bronnet, zoals berekend voor de business case van de betreffende casus (exclusief CAPEX-subsidie). De bijdrage van de ISDE-subsidie aansluiting warmtenet (voor bewoners) is hierin wel meegenomen.

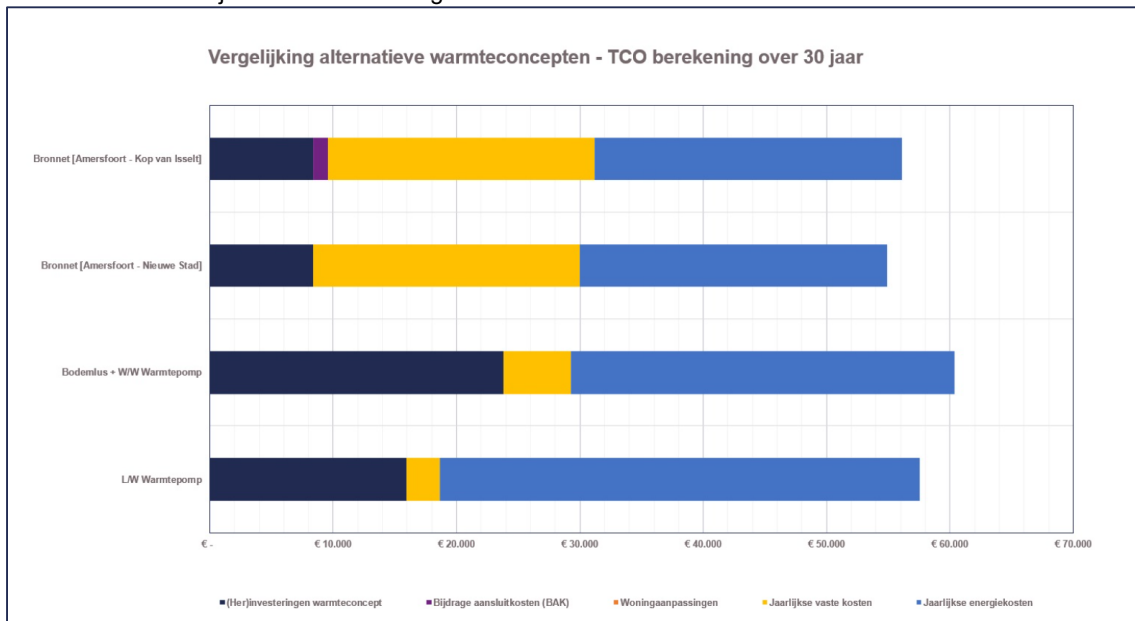
De *woningaanpassingen* betreffen de kosten voor de woningaanpassingen, zoals eerder gespecificeerd. Het bedrag is inclusief de bijdrage van ISDE-subsidie voor isolatie. Er is een energiebesparing ten gevolge van de isolatie van 20% aangenomen.

De *jaarlijkse vaste kosten* betreffen de vaste kosten, die bestaan uit het vastrecht, onderhoudskosten, en eventueel huur afleverzet en het meettarief.

Bij de *Jaarlijkse energiekosten* is uitgegaan van een warmtevraag van 45 GJ/jaar (36 GJ/jaar na isolatie). Voor gas en elektriciteit zijn de gemiddelde energietarieven van 2021 gehanteerd. Voor de warmteconcepten die aardgas verbruiken zijn 3 scenario's berekent, op basis van de stijging van de gasprijzen ten opzichte van de elektriciteitsprijzen.

## 4.6.2 Nieuwbouw

Figuur 4-7 toont een vergelijkbaar beeld als Figuur 4-6, maar dan voor de nieuwbouw scenario's in Amersfoort. Scenario's met aardgasverbruik zijn niet meegenomen. Per kostenpost wordt aangegeven wat de verschillen zijn met de berekening voor de bestaande bouw



Figuur 4-7: Vergelijking energieconcepten voor nieuwbouw

- **(Her)investeringen warmteconcept:** Als gevolg van een lagere warmtevraag zijn warmtepompen nodig met een lager vermogen. Deze hebben daarom ook lagere kosten.
- **Bijdrage aansluitkosten (BAK):** Uit de business cases van Amersfoort bleek dat er geen BAK nodig zou zijn. Dit mag nog wel gevraagd worden, mocht het wel nodig zijn.
- **Woningaanpassingen:** De woning wordt met een hoge isolatiegraad en geschikt voor lage temperatuur opgeleverd. Voor de bewoner zijn geen extra investeringen nodig.
- **Jaarlijkse vaste kosten:** Naast ruimteverwarming moeten nieuwbouwwoningen ook in staat zijn om te koelen. Dit is mogelijk met een bronnet. Om die reden zijn deze ook meegenomen in de kosten voor het vastrecht. Het vastrecht is wel gereduceerd tot het benodigde niveau om de NCW van de business case net positief te krijgen. Anders zijn de jaarlijkse kosten voor de bewoners te hoog vergeleken met andere technieken.
- **Jaarlijkse energiekosten:** De warmtevraag per woning is lager bij nieuwbouw. Er is uitgegaan van een warmtevraag van 25 GJ/woning. Extra elektriciteitskosten voor de koeling van de woningen zijn ook meegenomen. Uitgaande van 10 GJ/woning per jaar.

## 5 Conclusies en advies

Dit onderzoek naar de haalbaarheid van aquathermie vanuit de Eem is uitgevoerd in augustus 2022 t/m februari 2023. Begin 2022 was een onrustige periode waarin veel is veranderd in het maatschappelijke en geopolitieke speelveld. Door de historisch hoge energieprijzen is de urgentie van de warmtetransitie, en de overgang naar een aardgasvrije samenleving, nog maar eens duidelijker geworden.

### 5.1 Conclusies

Via het onderzoek zijn kansrijke wijken geïdentificeerd voor de gemeentes Baarn, Eemnes, Soest & Amersfoort waarbij de Eem een belangrijke rol kan gaan spelen in de warmtetransitie. Vanuit de bronnenanalyse is duidelijk dat de warmtepotentie groot is. Als de Eem maximaal benut zou worden, kunnen in theorie meer dan 20.000 woningen worden verwarmd met aquathermie. Daarnaast biedt de RWZI in Soest nog een warmtebron voor ongeveer 1.100 extra woningen. Voor grootschalige toepassing van aquathermie is het echter belangrijk dat de energievoorziening betaalbaar blijft en competitief is met andere warmteconcepten.

Om die reden is voor verschillende kansrijke wijken in de gemeentes een business case opgesteld. Door de resultaten tussen de verschillende wijken te vergelijken wordt duidelijk onder welke randvoorwaarden de toepassing van aquathermie wenselijk is. Uit de resultaten blijkt dat de afstand van een wijk tot de Eem hierin een zeer bepalende factor is. Voor de gemeentes Eemnes en Soest is gebleken dat de kosten per woning gereduceerd kunnen worden als er direct een bronleiding wordt aangelegd voor meerdere clusters. Een tweede bepalende factor is de keuze van het type warmtenet. Uit de resultaten blijkt dat de keuze voor een bronnet financieel gezien wenselijker is voor de bewoner. Dit vergt aan de voorkant wel extra maatregelen voor het maken van de juiste woonaanpassingen om woningen geschikt te maken voor verwarming op lage temperatuur. Een laatste bepalende factor is het percentage woningen in een wijk dat aan wil sluiten op het warmtenet. Om deze reden is het belangrijk dat de informatievoorziening richting bewoners op orde is, zodat bewoners begrijpen welke voor- en nadelen het heeft om op een bronnet aan te sluiten. De bewonersparticipatie wordt ook bevorderd als de benodigde BAK niet te hoog is. In dat geval is aansluiting op een bronnet nog competitief met andere technieken.

### 5.2 Advies

Het onderzoek is zodanig opgesteld dat de uitkomsten van de verschillende wijken goed met elkaar kunnen worden vergeleken. Hieruit is duidelijk geworden dat de wijken Eemdal-Noord in Baarn en de nieuwbouwwijken in Amersfoort het meest kansrijk zijn voor de toepassing van aquathermie uit de Eem. Deze wijken liggen dichtbij de Eem en hebben woningen met hoge isolatiegraad. Voor vergelijkbare wijken die niet zijn doorgerekend in dit onderzoek is het aan te nemen dat ze ook kansrijk zijn. Met de aankomende WIS subsidie zijn er eventueel nog mogelijkheden voor Eemnes. Voor de kansrijke wijken is het interessant om een vervolg te geven aan dit onderzoek in een hoger detailniveau.

## Bijlage 1      Bepaling WKO-capaciteit

## Notitie

<b>Contactpersoon</b>	Martin Koorn
<b>Datum</b>	23 september 2022
<b>Kenmerk</b>	N001-1322582MSK-V02-ygl-NL

## Bepaling WKO-capaciteit

Deze notitie beschrijft de aanpak en gebruikte formules van de quickscan voor de bepaling van de WKO-capaciteit in de gemeentes Eemnes, Baarn, Soest en Amersfoort. Voor deze ontwikkeling wordt gekeken naar TEO als primaire bron voor het laden van het bodemenergiesysteem met warmte, waarbij gebruik wordt gemaakt van de Eem.

In deze quickscan is op basis van de bodemopbouw en bijbehorende karakteristieken op hoofdlijnen bepaald wat in de betreffende gemeenten mogelijk is voor het toepassen van WKO. Een gedetailleerde beschouwing, met een volledige beschouwing op de omgeving is hierin niet opgenomen. In het kader van de BRL11000, scope 1A is deze notitie geen effectenstudie met bijbehorend ontwerp. Een vergunning voor het voorgenomen WKO-systeem mag met deze notitie niet aangevraagd worden.

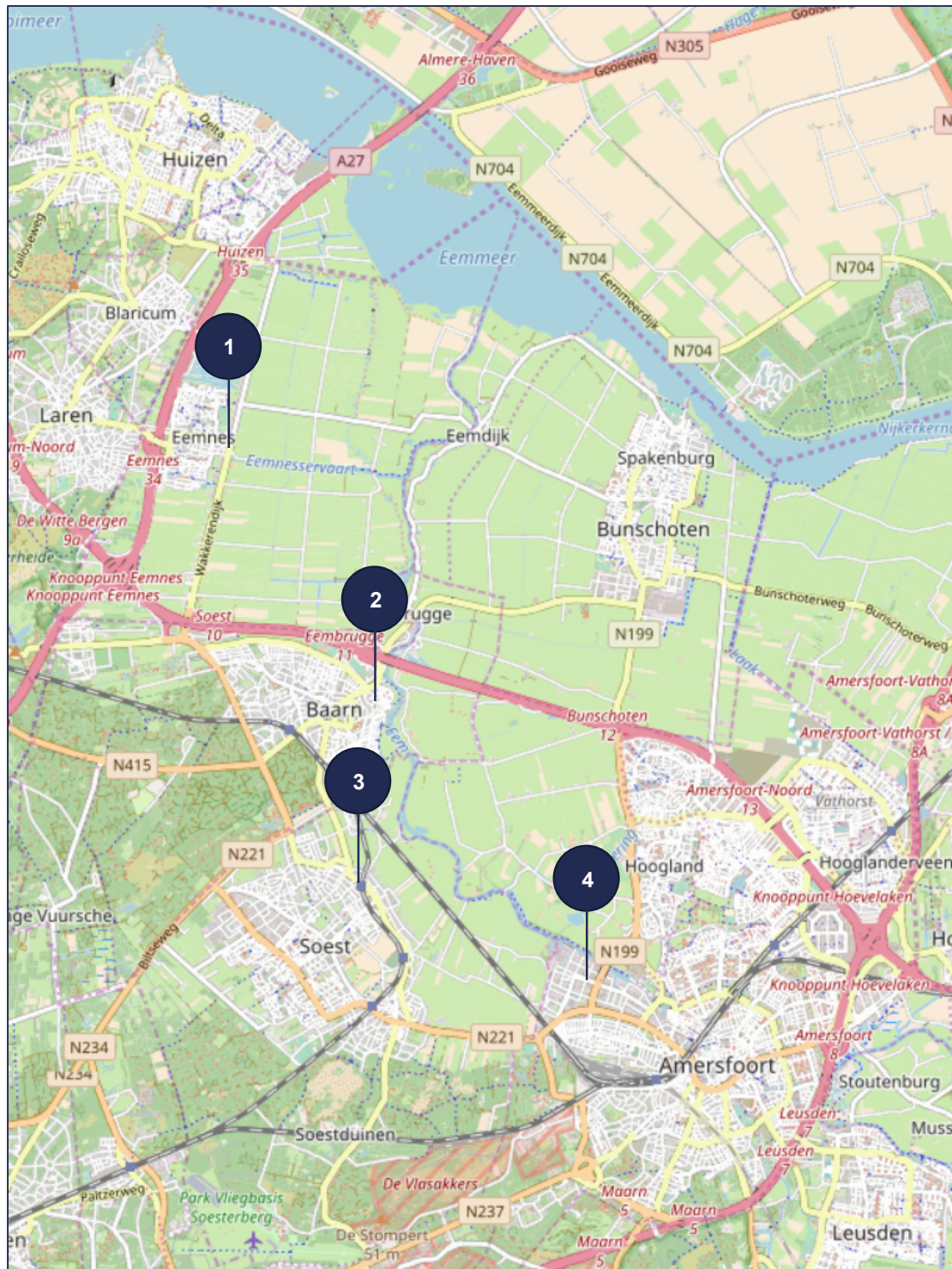
### 1.1 Gebiedsbeschrijving

#### 1.1.1 Ligging

Het bekeken gebied in deze quickscan omvat de gebouwde omgeving van de betrokken gemeenten bij het onderzoek. Voor dit onderzoek is nog geen concreet projectgebied aangegeven. Daarom worden de omgevingseffecten beschreven voor de bebouwde omgeving van elke woonplaats. In Figuur 1.1 is op de kaart weergegeven voor welke locaties de bodemopbouw is bepaald.

#### 1.1.2 Bodemopbouw

Op basis van REGIS-II, v2.2 (TNO, 2021) is de bodemopbouw vastgesteld. Voor de bodemopbouw is in elke gemeente één punt genomen waar de WKO-capaciteit voor is bepaald. Deze punten worden als representatief gezien voor de gehele gemeente. Zie Figuur 1 voor een overzicht van deze locaties. Tot een diepte van ongeveer 200 meter is voor elk van deze locaties de bodemopbouw beschreven in Tabel 2 t/m Tabel 5. Hierin is room omljnd welke bodemlagen als meest geschikt zijn aangeduid. Daarbij is rekening gehouden met de dikte van het watervoerend pakket, de horizontale doorlaatbaarheid en de aanwezigheid van complexe of kleilagen boven en onder het watervoerend pakket.



Figuur 1 Referentie locaties voor bepaling WKO-capaciteit. De cijfers geven voor elke woonplaats de locatie aan waarvoor de bodemopbouw in kaart is gebracht. 1) Eemnes, 2) Baarn, 3) Soest, 4) Amersfoort.

Een overzicht van de watervoerende lagen is gegeven in Tabel 1. De horizontale doorlaatbaarheid is het gewogen gemiddelde van horizontale doorlaatbaarheid van de verschillende bodemlagen in het gekozen watervoerende pakket (WVP). De transmissiviteit is vervolgens een functie van de horizontale doorlaatbaarheid en de dikte van het WVP.

Tabel 1 Gegevens bodemopbouw per gemeente

Variabele	Eenheid	Eemnes	Baarn	Soest	Amersfoort
Dikte watervoerend pakket	[m]	134	111	106	81
Horizontale doorlaatbaarheid	[m/dag]	70	77	72	76
Transmissiviteit	[m <sup>2</sup> /dag]	9.331	8.548	7.651	6.181

### 1.1.3 Grondwaterstroming

De grondwaterstroming ( $v$ ) is afhankelijk van de horizontale doorlaatbaarheid ( $k_h$ ), de porositeit ( $n$ ) van de bodemlaag, en de verhanglijn ( $S$ ) van de grondwaterstanden. De berekening gaat via onderstaande formule. De herkomst van de gebruikte waarden worden ook kort toegelicht.

$$v = \frac{S \cdot k_h}{n} \cdot 365 \text{ (dagen per jaar)}$$

- **Horizontale doorlaatbaarheid:** Dit volgt uit Tabel 1.
- **Porositeit:** De waarde varieert in Nederlandse zandgronden binnen zeer nauwe grenzen rond de 0,38. Deze waarde is daarom ook overgenomen.
- **Verhanglijn:** Aan de hand van peilbuizen worden grondwaterstanden gemeten. Uit de isohypsen van de grondwaterstanden valt vervolgens te bepalen over welke afstand de grondwaterstand met 1 meter daalt.

In Tabel 2 is een overzicht gegeven van de uitkomst van de berekening. In het gebied ligt het gemiddelde stroomsnelheid rond de 30 meter per jaar. Hoe hoger de grondwaterstroming, des te lager het thermisch rendement van de WKO. Een grenswaarde voor de toepassing van een WKO is een grondwaterstroming van 50 meter per jaar. Daar zitten deze waarde ruim onder, waardoor dit geen belemmering vormt voor de toepassing van een WKO.

Tabel 2 Snelheid grondwaterstroming per gemeente

Variabele	Eenheid	Eemnes	Baarn	Soest	Amersfoort
Porositeit	[-]	0,38	0,38	0,38	0,38
Horizontale doorlaatbaarheid	[m/dag]	70	77	72	76
Verhanglijn	[m/m]	1:2520	1:2340	1:2440	1:2260
Snelheid grondwaterstroming	[m/jaar]	27	32	28	30



## 1.2 Bepaling WKO-capaciteit

Voor de bepaling van de WKO-capaciteit is gekeken naar het realistisch potentieel van de bodem. Er is uitgegaan van een doublet systeem, waarbij er een warme en koude bron is die samen in balans zijn. De warme en koude bron nemen beiden een gelijke hoeveelheid ruimte in beslag. De bodemcapaciteit is een functie van de hoeveelheid thermische energie die opgeslagen per injectieput en de bronafstand. De bronafstand tussen verschillende putten is doorgaans minstens 2 keer de thermische straal. Per locatie is vervolgens berekend hoeveel energie en per hectare kan worden opgeslagen. Hieronder wordt ingegaan op de berekening van de thermische energie en thermische straal. Deze zijn afhankelijk van de bodemkarakteristiek. Zie Tabel 3 voor de uitkomsten. De capaciteit van de WKO wordt beperkt door het maximaal vergunbare infiltratiedebiet van 250 m<sup>3</sup>/uur.

Tabel 3 Uitkomst WKO-capaciteit per gemeente

Variabele	Eenheid	Eemnes	Baarn	Soest	Amersfoort
Thermische energie	[GJ]	9.733	9.733	9.733	9.733
Thermische straal	[m]	94	97	95	96
Oppervlakte per doublettenpaar	[ha]	5,5	5,8	5,6	5,8
<b>Bodempotentie</b>	<b>[GJ/ha]</b>	<b>1.773</b>	<b>1.667</b>	<b>1.734</b>	<b>1.684</b>

### 1.2.1 Thermische energie

De thermische energie wordt berekend aan de hand van onderstaande formule. Dit is de hoeveelheid energie die elke seizoen is opgeslagen in de bodem.

$$Q = \rho \cdot V \cdot c_w \cdot \Delta T \cdot n$$

Q	Opgeslagen thermische energie [J]
$\rho$	De dichtheid van zoet grondwater in [998 kg/m <sup>3</sup> ]
V	Verpompte hoeveelheid grondwater per seizoen [m <sup>3</sup> ]
$c_w$	Specifieke warmtecapaciteit (4,18 kJ/kg)
$\Delta T$	Vershil tussen injectie en onttrekkingstemperatuur [°6 C]
n	Thermisch rendement van het systeem [-]

### Verpompte hoeveelheid grondwater per seizoen

Deze waarde is afhankelijk van de grootte van de injectiebron. Het gaat hier dan met name om de filterlengte en de diameter van het boorgat. Voor de filterlengte wordt in de praktijk rekening gehouden met een factor 0,8. Ofwel de filterlengte beslaat in verticale richting 80 % van de dikte van het WVP. De diameter van het boorgat is aangenomen op 0,8 meter. Afhankelijk van de horizontale doorlaatbaarheid kan ook de maximale infiltratiesnelheid worden bepaald. Dit alles geeft samen met het aantal vollasturen (2.500 uur) het totale geïnjecteerde volume per jaar.

## Thermisch rendement

Niet alle warmte die wordt opgeslagen in de bodem wordt uiteindelijk benut voor de verwarming van woningen. De warmte verspreid zich langzaam in de bodemlaag, waardoor een deel niet nuttig gebruikt kan worden. Het rendement is afhankelijk van de grondwaterstroming, en de plaatsing van de warme en koude bronnen. Uit het onderzoek van (Bot & Zwamborn, 2013) kwam het rendement doorgaans uit op 76 %.

### 1.2.2 Thermische straal

De thermische straal  $r_{th}$  is afhankelijk van de filter lengte  $L$ , de verhouding tussen de warmtecapaciteit van het aquifer en het grondwater (0,75), en het totale geïnjecteerde volume  $V$ .

$$r_{th} = \sqrt{\frac{0,75 \cdot V}{0,322\pi \cdot L}}$$

Tabel 4 Bodemopbouw bij locatie Eemnes (1)

Bovenzijde m (t.o.v maaiveld)	Onderzijde (m t.o.v. maaiveld)	Lithologie	Formatie	Eenheid	Parameters WVP: $k_{hor}$ (m/dag) SDL: $k_{ver}$ (m/dag)
0	-1.69	Complex	Holocene afzetting	Deklaag	-
-1.69	-11.41	Zandig	Formatie van Boxtel	1 <sup>e</sup> WVP	5,0
-11.41	-11.99	Zandig	Eem formatie	1 <sup>e</sup> WVP	8,5
-11.99	-17.99	Kleilig	Eem formatie	1 <sup>e</sup> SDL	0,07
-17.99	-20.21	Zandig	Eem formatie	2 <sup>e</sup> WVP	20,5
-20.21	-42.29	Zandig	Formatie van Drenthe	2 <sup>e</sup> WVP	26,2
-42.29	-44.04	Kleilig	Formatie van Drenthe	2 <sup>e</sup> SDL	0,05
-44.04	-45.00	Zandig	Formatie van Drenthe	3 <sup>e</sup> WVP	26,2
-45.00	-70.14	Zandig	Formatie van Sterksel	3 <sup>e</sup> WVP	40,6
-70.14	-177.74	Zandig	Formatie van Peize & Waalre	3 <sup>e</sup> WVP	77,0
-177.74	-191.00	Complex	Formatie van Peize & Waalre	3 <sup>e</sup> SDL	$K_{hor}$ : 9,15 $K_{ver}$ : 0,058
-191.00	-199.47	Zandig	Formatie van Peize & Waalre	4 <sup>e</sup> WVP	38,0
-199.47	-203.17	Zandig	Formatie van Maassluis	4 <sup>e</sup> WVP	18,5
-203.17	-217.32	Kleilig	Formatie van Maassluis	4 <sup>e</sup> SDL	0,003

Tabel 5 Bodemopbouw bij locatie Baarn (2)

Bovenzijde m (t.o.v maaiveld)	Onderzijde (m t.o.v. maaiveld)	Lithologie	Formatie	Eenheid	Parameters WVP: $k_{hor}$ (m/dag) SDL: $k_{ver}$ (m/dag)
0,00	-0,03	Complex	Holocene afzetting	Deklaag	-
-0,03	-10,02	Zandig	Formatie van Boxtel	1 <sup>e</sup> WVP	5,0
-10,02	-11,22	Venig	Formatie van Woudenberg	1 <sup>e</sup> SDL	0,004
-11,22	-14,76	Kleilig	Eem formatie	1 <sup>e</sup> SDL	0,05
-14,76	-43,14	Zandig	Formatie van Drenthe	2 <sup>e</sup> WVP	32,0
-43,14	-50,45	Kleilig	Formatie van Drenthe	2 <sup>e</sup> SDL	0,003
-50,45	-50,88	Zandig	Formatie van Drenthe	3 <sup>e</sup> WVP	32,0
-50,88	-62,17	Zandig	Formatie van Sterksel	3 <sup>e</sup> WVP	52,0
-62,17	-161,02	Zandig	Formatie van Peize & Waalre	3 <sup>e</sup> WVP	80,4
-161,02	-166,04	Kleilig	Formatie van Waalre	3 <sup>e</sup> SDL	0,011
-166,04	-167,14	Complex	Formatie van Peize & Waalre	3 <sup>e</sup> SDL	$K_{hor}$ : 9,12 $K_{ver}$ : 0,055
-167,14	-173,15	Zandig	Formatie van Peize & Waalre	4 <sup>e</sup> WVP	37,4
-173,15	-174,15	Zandig	Formatie van Maassluis	4 <sup>e</sup> WVP	17,8
-174,15	-188,84	Kleilig	Formatie van Maassluis	4 <sup>e</sup> SDL	0,003

Tabel 6 Bodemopbouw bij locatie Soest (3)

Bovenzijde m (t.o.v maaiveld)	Onderzijde (m t.o.v. maaiveld)	Lithologie	Formatie	Eenheid	Parameters WVP: $k_{hor}$ (m/dag) SDL: $k_{ver}$ (m/dag)
0,00	- 0,52	Complex	Holocene afzetting	Deklaag	
- 0,52	- 9,09	Zandig	Formatie van Boxtel	1 <sup>e</sup> WVP	5,0
- 9,09	- 11,83	Kleiig	Eem formatie	1 <sup>e</sup> SDL	0,04
- 11,83	- 14,06	Zandig	Eem formatie	2 <sup>e</sup> WVP	14,6
- 14,06	- 16,25	Zandig	Formatie van Drenthe	2 <sup>e</sup> WVP	36,0
- 16,25	- 41,26	Complex	Gestuwde afzettingen	2 <sup>e</sup> SDL	-
- 41,26	- 59,04	Zandig	Formatie van Sterksel	3 <sup>e</sup> WVP	44,6
- 59,04	- 146,96	Zandig	Formatie van Peize & Waalre	3 <sup>e</sup> WVP	78,0
- 146,96	- 151,72	Kleiig	Formatie van Waalre	3 <sup>e</sup> SDL	0,018
- 151,72	- 160,77	Zandig	Formatie van Peize & Waalre	4 <sup>e</sup> WVP	78,0
- 160,77	- 161,70	Zandig	Formatie van Maassluis	4 <sup>e</sup> WVP	18,2
- 161,70	- 175,32	Kleiig	Formatie van Maassluis	4 <sup>e</sup> SDL	0,003

Tabel 7 Bodemopbouw locatie Amersfoort (4)

Bovenzijde m (t.o.v maaiveld)	Onderzijde (m t.o.v. maaiveld)	Lithologie	Formatie	Eenheid	Parameters WVP: $k_{hor}$ (m/dag) SDL: $k_{ver}$ (m/dag)
0,00	- 0,40	Zandig	Formatie van Boxtel	Deklaag	-
- 0,40	- 0,96	Kleiig	Formatie van Boxtel	Deklaag	-
- 0,96	- 11,50	Zandig	Formatie van Boxtel	1 <sup>e</sup> WVP	4,6
- 11,50	- 15,77	Zandig	Eem formatie	1 <sup>e</sup> WVP	14,9
- 15,77	- 34,26	Zandig	Formatie van Drenthe	1 <sup>e</sup> WVP	17,4
- 34,26	- 42,63	Complex	Gestuwde afzettingen	1 <sup>e</sup> SDL	-
- 42,63	- 57,26	Zandig	Formatie van Sterksel	2 <sup>e</sup> WVP	42,5
- 57,26	- 58,16	Zandig	Formatie van Peize & Waalre	2 <sup>e</sup> WVP	76,0
- 58,16	- 58,81	Kleiig	Formatie van Waalre	2 <sup>e</sup> SDL	0,04
- 58,81	- 140,14	Zandig	Formatie van Peize & Waalre	3 <sup>e</sup> WVP	76,0
- 140,14	- 148,04	Kleiig	Formatie van Waalre	3 <sup>e</sup> SDL	0,035
- 148,04	- 155,75	Zandig	Formatie van Peize & Waalre	4 <sup>e</sup> WVP	76,0
- 155,75	- 156,52	Zandig	Formatie van Maassluis	4 <sup>e</sup> WVP	17,6
- 156,52	- 168,66	Kleiig	Formatie van Maassluis	4 <sup>e</sup> SDL	0,004

## Bijlage 2 Toelichting economische parameters

## Notitie

**Contactpersoon** Martin Koom  
**Datum** 4 februari 2023  
**Kenmerk** N002-1322582MSK-V01-ygl-NL

## Economische parameters - Business case

In deze notitie wordt uiteengezet welke economische parameters gehanteerd zijn in de haalbaarheidsstudie naar aquathermie uit de Eem. Dit bestaat ten eerste uit de business case vanuit het perspectief van een projectinvesteerder en ten tweede de berekening van de *total costs of ownership (TCO)* vanuit het perspectief van bewoners. Een aantal parameters zijn overeengestemd met Royal HaskoningDHV vanuit de studie naar aquathermie uit het Eemmeer. In de tabellen is dit aangegeven met een lage streep en een \*.

### Business case – Projectinvesteerder

Voor de doorrekening van de business case zijn de waardes uit **Tabel 1** gehanteerd. De doorrekening loopt over een periode van 30 jaar. In de business case is uitgegaan dat de investering wordt uitgevoerd in jaar 0. In jaar 15 geldt een herinvestering voor bepaalde kosten, zoals warmtewisselaars, pompen, de WKO en fijn/grof- filters. In jaar 1 sluiten woningen aan, waarbij inkomsten worden gegenereerd vanuit de bijdrage aansluitkosten (BAK). Met de discontovoet is de netto constante waarde (NCW) berekent voor de inkomsten en uitgaven van elke jaar. Voor elke wijk is de hoogte van de BAK is vervolgens zo ingesteld dat de NCW net positief is.

### TCO-vergelijking alternatieve technieken - Bewoner

Voor de doorrekening van de TCO zijn de waardes uit **Tabel 2** gehanteerd. De meegenomen kosten zijn in de tabel per onderdeel uitgelicht. Voor de berekening van de jaarlijkse energiekosten zijn energietarieven uit 2022 gebruikt die overeenkomen met de waardes uit de business case. Voor de bewoner zijn echter ook de opslag duurzame energie en de energiebelasting meegenomen:

- **Elektriciteit:** 0,3734 EUR / kWh
- **Aardgas:** 1,2586 EUR / Nm<sup>3</sup>
- **Warmte:** 48,40 EUR / GJ



Tabel 1 Gehanteerde waarden voor doorrekening business case. Alle kosten zijn exclusief BTW.

Onderdeel	Beschrijving	Waarde	Eenheid
Algemeen	<u>Inflatie</u>	2,0	%
	<u>Discontovoet*</u>	4,5	%
Energie inkoop	<u>Inkoopprijs elektra*</u>	€0,30	EUR/kWh
Onderhoud & Beheer	<u>OPEX vaste kosten*</u>	2%	% van CAPEX
	<u>Verzekeringen*</u>	2%	% van CAPEX
	<u>Beheerkosten*</u>	7%	% van Inkomsten
	<u>Communicatie*</u>	2%	% van Inkomsten
	Facturatie bronnet	€30,-	EUR/woning per jaar
	Facturatie MT/net	€60,-	EUR/woning per jaar
Warmte verkoop bronnet	Vastrecht bronnet; Basis	222,46	EUR / aansluiting
	Vastrecht; Opslag vermogen > 3 kW	56,29	EUR per kW boven 3 kW / aansluiting
	Vastrecht koude; Basis	183,88	EUR / aansluiting
	Vastrecht koude; Opslag vermogen > 2 KW	44,63	EUR per kW boven 2 kW / aansluiting
	Gemiddeld aansluitvermogen; bestaande bouw	8	kW / aansluiting
	Gemiddeld aansluitvermogen; nieuwbouw	5	kW / aansluiting
	<u>Huur afleverset*</u>	103,72	EUR / jaar
Warmte verkoop MT- net	<u>Warmtetarief*</u>	44,59	EUR / GJ
	<u>Vastrecht warmte*</u>	408,57	EUR / jaar
	<u>Meettarief*</u>	22,70	EUR / jaar
	<u>Huur afleverset*</u>	103,72	EUR / jaar

Tabel 2 Gehanteerde waarden voor de vergelijking van warmteconcepten – waarden zijn gegeven voor bestaande bouw

Onderdeel	Beschrijving	CV-ketel	Hybride Lucht/Water Warmtepomp	Lucht/Water Warmtepomp	Bodemlus + Water/water warmtepomp	Bronnet + Water/water warmtepomp	Midden temperatuur warmtenet
<b>Warmteconcept</b>	Investering	1.750	9.750	13.100	23.730	8.000	-
	<i>ISDE Warmtepomp</i>	-	- 3.900	- 3.900	- 3.900	- 3.900	-
	Herinvesteringen tot 30 jaar	1.750	4.750	9.750	7.200	4.000	-
	<b>Totaal warmteconcept</b>	<b>3.500</b>	<b>14.500</b>	<b>18.850</b>	<b>27.030</b>	<b>8.100</b>	<b>-</b>
<b>Bijdrage aansluitkosten (BAK)</b>	Aansluitbijdrage	-	-	-	-	4.945	4.945
	Kostendeckingsbijdrage	-	-	-	-	Variabel	Variabel
	<i>ISDE aansluiting warmtenet</i>	-	-	-	-	- 3.325	- 3.325
	<b>Totaal BAK</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>Variabel</b>	<b>Variabel</b>
<b>Woning-aanpassingen</b>	Woningaanpassingen	5.000	5.000	8.000	8.000	8.000	5.000
	<i>ISDE Isolatie</i>	- 1.500	- 1.500	- 1.500	- 1.500	- 1.500	- 1.500
	<b>Totaal woningaanpassingen</b>	<b>3.500</b>	<b>3.500</b>	<b>6.500</b>	<b>6.500</b>	<b>6.500</b>	<b>3.500</b>
<b>Jaarlijks vaste kosten</b>	Vastrecht	187	187	-	-	610	494
	Onderhoud	80	100	130	252	80	-
	Huur afleverset	-	-	-	-	126	126
	Meettarief	-	-	-	-	-	28
	<b>Totaal vaste kosten per jaar</b>	<b>267</b>	<b>287</b>	<b>130</b>	<b>252</b>	<b>816</b>	<b>648</b>
<b>Jaarlijkse energiekosten</b>	Warmtevraag aardgas [GJ]	32	8	-	-	-	-
	Kosten aardgas	1.272	254	-	-	-	-
	Warmtevraag elektriciteit [GJ]	-	24	32	32	32	-
	<i>SCOP Warmtepomp</i>	-	<u>3,5</u>	<u>3,2</u>	<u>4,0</u>	<u>5,0</u>	-
	Kosten elektriciteit	-	948	1.037	830	664	-
	Warmtevraag warmte [GJ]	-	-	-	-	-	32
	Kosten warmte	-	-	-	-	-	1.727
	<b>Totaal energiekosten per jaar</b>	<b>1.304</b>	<b>1.234</b>	<b>1.069</b>	<b>862</b>	<b>696</b>	<b>1.759</b>