

Warmte uit Gelders water

Aquathermie potentieelstudie voor de gebouwde omgeving





Datum 6 januari 2026

Referentie PR11252/FN/20260106

Betreft Warmte uit Gelders water - Aquathermie potentieelstudie voor de gebouwde omgeving

Behandeld door Jord Smolenaars, Frank Niewold, Benno van der Werff, Casper Schutte

Gecontroleerd door Begeleidingscommissie met vertegenwoordigers van Provincie Gelderland, RES Groene Metropool Regio Arnhem Nijmegen, RES Rivierenland, RES Regio Foodvalley, RES Achterhoek, RES Regio Stedendriehoek, Waterschap Rivierenland, Waterschap Rijn en IJssel, Waterschap Vallei en Veluwe.

Versienummer Concept v1

OPDRACHTGEVER

Provincie Gelderland

Contactpersoon: Harry van der Voorn

INHOUDSOPGAVE

1 Inleiding	5
1. Achtergrond	5
2. Doel onderzoek	5
3. Bijdrage begeleidingscommissie	5
4. Leeswijzer	6
5. Disclaimer	6
2 Onderzoeksmethode	7
1. Inleiding	7
2. Haalbaarheid collectief aquathermiesysteem	7
3. Energieconcepten collectief aquathermiesysteem	7
4. Overzicht methodiek	8
5. Projectgebied	9
6. Warmteclusters	9
7. Potentie TEO en TEA	10
8. Potentie WKO	12
9. Match clusters met aquathermie	12
10. TCO berekening	13
11. Vertaling naar geschiktheid aquathermie	13
3 Resultaten	15
1. Het lezen van de kaarten	15
2. Kaarten warmtevraag en warmteclusters	16
3. Kaarten Potentie Aquathermie (TEO & TEA)	18
4. Kaarten potentie WKO	21
5. Kaarten Koppeling Warmteclusters en TEO	22
6. Kaarten Koppeling Warmteclusters en TEA	26
7. Kaarten beste energieconcept per cluster	28
8. Overzicht resultaten	28
4 Gebruikershandleiding	30
1. Gebruik van de GIS-viewer	30
2. Handelingsperspectief	33
3. Theoretische potentie	36
4. Meerdere clusters aan één RWZI	36
Bijlage 1 Energieconcepten	38
1. Energieconcept collectief aquathermiesysteem	38
2. Energieconcept individuele lucht-/waterwarmtepomp	40
Bijlage 2 Uitgangspunten clustering	41
1. Warmtevraag bepalen	41
2. Koudevraag bepalen	44
3. Warmtevraag per gridcel	44
4. Clustering van de warmtevraag	44
5. Aantal weq en aandeel appartementen	44
Bijlage 3 Rekenregels TEO met WKO	46
1. Aquathermie Stromende oppervlaktewateren	46
1. Uitgangspunten en basisberekening	46

2.	Beperking door STOWA richtlijn	47
3.	Theoretische thermische potentie	47
4.	Verdeling van warmte uit oppervlaktewater	47
2.	Aquathermie stilstaande oppervlaktewateren	48
1.	Uitgangspunten en basisberekening	48
2.	Beperking door STOWA richtlijn	50
3.	Verdeling van warmte uit oppervlaktewater	50
Bijlage 4 WKO-potentieel		51
1.	Bepaling p-potentieel	51
1.	Ondergrondmodel NHI-LHM 4.1	51
2.	Beleidsmatige restrictiegebieden	51
3.	Berekeningswijze bodempotentieel open bodemenergiesystemen	52
2.	Vertalen van potentieel naar kostprijs	52
Bijlage 5 TCO berekening		54
1.	Meegenomen kosten	54
2.	Uitgangspunten	54
Bijlage 6 Geschiktheidsniveaus		56
1.	Bepaling geschiktheidsniveaus	56

1 Inleiding

1. ACHTERGROND

Een belangrijke ambitie uit het klimaatakkoord 2019 en het Parijs akkoord is energieneutraliteit in de gebouwde omgeving. Het levert ontwikkelaars, gemeenten en gebouw eigenaren flinke uitdagingen op. Hoe gebouwen duurzaam te verwarmen en te koelen. Eén van de opties is het toepassen van aquathermie, de verzamelnaam voor de winning, opslag en distributie van thermische energie uit oppervlaktewater, afvalwater en drinkwater (ook bekend als respectievelijk TEO, TEA en TED).

Aquathermie: van potentie naar concrete toepassing voor gebieden

Aquathermie biedt grote kansen voor duurzame warmte, maar ook uitdagingen. De sleutel ligt in een helder verhaal, ondersteund door duidelijke kaarten en betrouwbare informatie. Zo creëren we draagvlak bij bewoners, overheden en belanghebbenden en versnellen we de transitie naar aardgasvrij wonen en werken.

Een realistische potentiekaart voor de gebouwde omgeving is dé kans om aquathermie in Gelderland van theorie naar praktijk te brengen. Daarmee verbinden we het regionale potentieel aan lokale haalbaarheidsstudies - efficiënt, inzichtelijk en gericht op CO₂-reductie.

1.2 DOEL ONDERZOEK

Het doel van dit onderzoek is om de toepassing van aquathermie in de warmtetransitie in Gelderland naar een hoger niveau te tillen. Dit wordt gedaan door inzicht te geven in welke gebieden in Gelderland haalbaar en realistisch te koppelen zijn aan aquathermie. Hierbij is het belangrijk te redeneren vanuit zowel de vraagkant (gebouwen)¹ als de aanbodkant (aquathermie).

In deze potentieelstudie onderzoeken we specifiek TEO en TEA. In de tekst gebruiken we de verzamelnaam aquathermie. Uit de context is het voldoende duidelijk dat het om TEO en/of TEA gaat.

1.3 BIJDRAGE BEGELEIDINGSCOMMISSIE

Om dit onderzoek stevig te verankeren, is het cruciaal om alle relevante partijen te betrekken. Daarom is een begeleidingscommissie ingericht als klankbord gedurende het project. Deze commissie bundelt kennis en belangen van:

- Provincie Gelderland;
- RES-regio's: Groene Metropool (Arnhem-Nijmegen), Rivierenland, Foodvalley, Achterhoek, Stedendriehoek;
- Waterschappen: Rivierenland, Rijn en IJssel, Vallei en Veluwe.

Samen zorgen we voor richting, draagvlak en kwaliteit. Naast de functie van waardevolle sparring-partner en het leveren van feedback op het project heeft de begeleidingscommissie ook informatie aangeleverd voor het onderzoek.

¹ De warmtevraag van woningen en utiliteit is meegenomen in het onderzoek. De warmtevraag van industrie is vooralsnog niet meegenomen, vanwege ontbrekende informatie.

1.4 LEESWIJZER

In hoofdstuk [2](#) is de onderzoeksmethode beschreven met de belangrijkste uitgangspunten. Hoofdstuk [3](#) bevat de resultaten van het onderzoek. Tot slot wordt in hoofdstuk [4](#) het gebruik en de interpretatie van de GIS-kaarten beschreven. Bijlage 1 t/m 6 geeft de nodige achtergrondinformatie en verdieping op hoofdstuk 2 t/m 4.

1.5 DISCLAIMER

De resultaten van dit onderzoek zijn slechts bedoeld om de haalbaarheid van aquathermiesystemen inzichtelijk te maken. Dit rapport en de GIS-kaarten zijn opgesteld in samenwerking met een begeleidingscommissie en hoewel wij ernaar streven om de informatie up-to-date en correct te berekenen, geven wij geen garanties van welke aard dan ook, uitdrukkelijk of impliciet, over de volledigheid, nauwkeurigheid, betrouwbaarheid of geschiktheid met betrekking tot de haalbaarheid van een echt aquathermiesysteem, voor welk doel dan ook.

Het onderzoek is met de grootst mogelijke zorgvuldigheid opgesteld. Het betreft echter een regionale studie. Het is niet geschikt voor het bepalen van de haalbaarheid van aquathermie op projectniveau. Hiervoor is altijd een nadere studie op projectniveau noodzakelijk. Zie [Figuur 4.2](#) in paragraaf [4.2](#) voor de positie van deze studie in de aanpak van aquathermie.

2 Onderzoeksmethode

2.1 INLEIDING

In dit hoofdstuk worden de methodiek, belangrijke uitgangspunten en berekeningen van dit onderzoek stap voor stap toegelicht. Veel uitgangspunten zijn gebaseerd op achterliggende berekeningen. In de hoofdttekst wordt verwezen naar de bijbehorende bijlagen en documenten. Daarnaast zijn de stappen visueel weergegeven en geanalyseerd met behulp van GIS.

We bespreken eerst hoe we de haalbaarheid van een collectief aquathermie systeem definiëren in dit onderzoek. Daarna bespreken we de energieconcepten met een collectief aquathermiesysteem die we in dit onderzoek hebben onderzocht. Hierop volgt de visuele weergave van de verschillende stappen die gebruikt zijn om de haalbaarheid te bepalen. De resterende paragrafen bespreken de verschillende stappen in meer detail.

2.2 HAALBAARHEID COLLECTIEF AQUATHERMIESYSTEEM

Hoe bepalen we de haalbaarheid van aquathermie?

In dit onderzoek toetsen we een collectief aquathermiesysteem op betaalbaarheid ten opzichte van een alternatief: de individuele all-electric lucht-/waterwarmtepomp.

Collectieve warmtenetten kennen nu vaak een onrendabele top; verduurzaming kost meer dan aardgas, waardoor subsidies nodig zijn. Met het oog op 2050 - wanneer bijna alle 7 miljoen woningen aardgasvrij moeten zijn - is de vraag: kan aquathermie concurreren met andere duurzame systemen?

We vergelijken beide opties op Total Cost of Ownership (TCO) per woningequivalent (WEQ) over 30 jaar, inclusief investerings- en operationele kosten, exclusief subsidies en financieringslasten. Zo brengen we de financiële haalbaarheid van aquathermie scherp in beeld.

De haalbaarheid van een aquathermiesysteem hebben we geclassificeerd in zes geschiktheidsniveaus: uitstekend potentieel, goed potentieel, ontwikkelbaar potentieel, onderzoekswaardig potentieel, beperkt potentieel tot geen potentieel. De indeling wordt in [Bijlage 6](#) toegelicht.

2.3 ENERGIECONCEPTEN COLLECTIEF AQUATHERMIESYSTEEM

Aquathermie kan op verschillende manieren ingezet worden in een energiesysteem voor de levering van warmte- en mogelijk koeling aan gebouwen. Belangrijke onderdelen van het energiesysteem zijn het warmtenet, de warmtebron en het gebruik van warmteopslag. Dit hebben we vertaald naar twee typen warmtenetten en drie energieconcepten.

Twee typen warmtenetten

In dit onderzoek kijken we naar de volgende twee typen warmtenetten:

- **Midden temperatuur (MT)-warmtenet op 70 °C:** in de gebouwen is alleen een afleverset aanwezig want de warmte kan direct gebruikt worden voor verwarmen en warm tapwater levering. Het is met dit type warmtenet niet mogelijk om koeling te leveren.

- **Zeer lage temperatuur (ZLT)-warmtenet op 8-15 °C:** de warmte wordt op brontemperatuur² naar de gebouwen gedistribueerd. In de gebouwen wordt de warmte met een water-/water-warmtepomp opgewaardeerd zodat het geschikt is voor ruimteverwarming en warm tapwater. Met een ZLT-net is het ook mogelijk om koeling aan de gebouwen te leveren.

Drie energieconcepten

Daarnaast kijken we naar drie concepten van aquathermie als bron van het energiesysteem:

- **TEO met WKO:** Het TEO-systeem wordt gebruikt in de zomermaanden als het oppervlaktewater voldoende warm is ($>17^{\circ}\text{C}$). De warmte wordt dan opgeslagen in de bodem (WKO) en kan in de winter gebruikt worden voor de verwarming van huizen. De potentie van aquathermie wordt bepaald op basis van de hoeveelheid energie die in de zomer onttrokken kan worden in GJ/jaar.
- **TEO zonder WKO:** TEO functioneert het hele jaar door als bron van warmte voor de centrale warmtepompen. Dit is alleen mogelijk bij grote rivieren, waarbij temperatuur en debiet hoog genoeg zijn. De potentie van aquathermie wordt bepaald door de hoeveelheid warmte die in de winter geleverd kan worden. Aangezien er geen WKO wordt toegepast moet in de winter alle warmte direct uit aquathermie komen. Als eenheid van de potentie voor dit concept hanteren we daarom thermisch vermogen (kW) van het aquathermiesysteem in de winter.
- **TEA zonder WKO:** TEA functioneert het hele jaar door als bron van warmte voor de centrale warmtepompen. De potentie van het aquathermiesysteem in dit concept wordt hetzelfde bepaald als TEO zonder WKO en geven we weer met vermogen (kW).

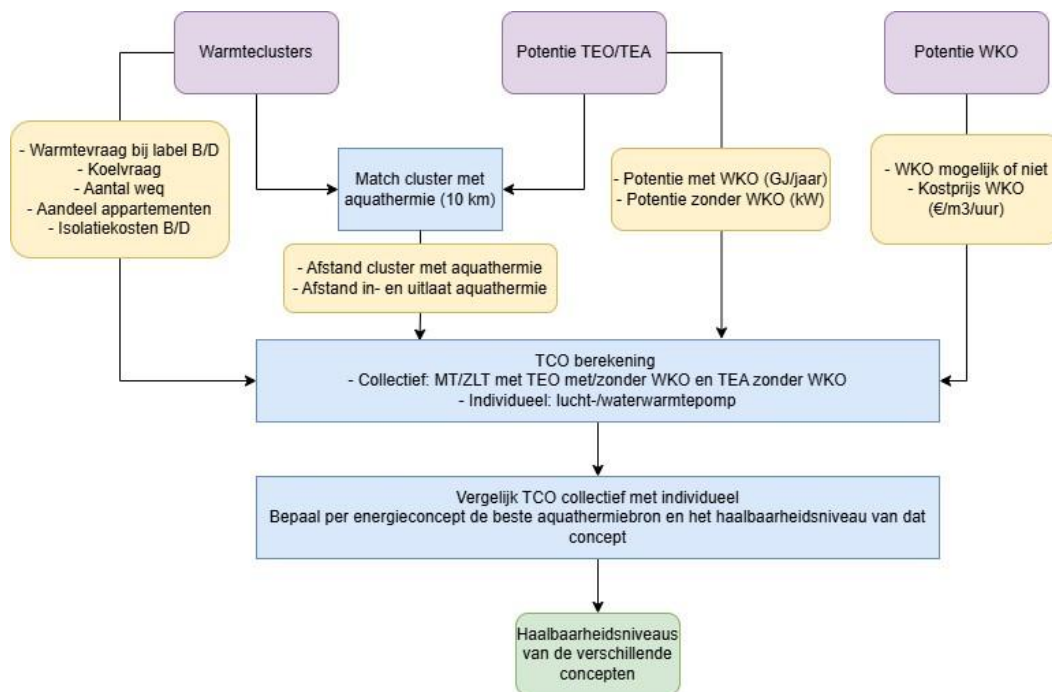
In [Bijlage 1](#) is een verdere toelichting van de uitgangspunten van de verschillende concepten te vinden.

2.4

OVERZICHT METHODIEK

In [Figuur 2.1](#) zijn de verschillende stappen weergegeven welke gehanteerd zijn voor de bepaling van de haalbaarheid van een aquathermiesysteem. In de volgende paragrafen is per stap de methode en uitgangspunten beschreven.

² De brontemperatuur is de temperatuur van warmte uit het aquathermiesysteem of WKO-systeem.



Figuur 2.1 | Weergave van het proces om de haalbaarheid van aquathermie te bepalen. In de paarse blokken staat de gebruikte input, hoe deze input is bepaald wordt in losse paragrafen uitgelegd. In de blauwe blokken staan de processtappen waarin acties uitgevoerd worden voor het bepalen van de haalbaarheid. De drie processtappen bestaan uit het matchen van de clusters met aquathermie, een TCO berekening opstellen voor alle clusters met verschillende aquathermie bronnen en energieconcepten, en daarna de TCO van collectief en individueel vergelijken en omzetten in een haalbaarheidsniveau voor het collectieve systeem met aquathermie. In de gele blokken staan de specifieke variabelen die uit de input gebruikt worden in de daarop volgende processtappen. In het groene blok staan de resultaten.

2.5 PROJECTGEBIED

In overleg met de projectgroep is het projectgebied iets groter gemaakt dan enkel de provincie Gelderland. Binnen de RES Foodvalley liggen ook de Utrechtse gemeenten Rhenen, Renswoude en Veenendaal. Deze gemeenten zijn ook in de studie meegenomen.

Daarnaast liggen de Maas en Randmeren tegen de provinciegrenzen aan. Voor de potentieberekeningen is de gehele breedte van de Maas en de volledige oppervlakte van de aangrenzende Randmeren meegenomen.

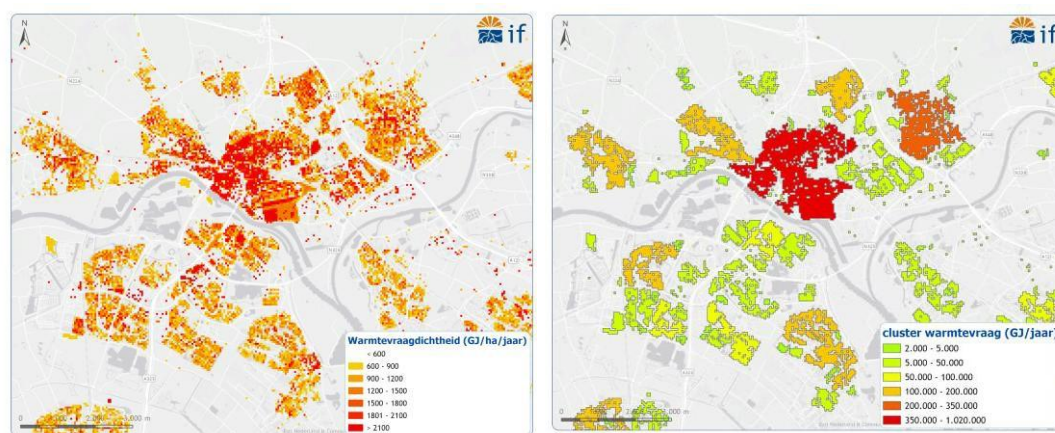
2.6 WARMTECLUSTERS

In deze stap van de berekening worden warmteclusters gevormd. Deze warmteclusters worden gevormd aan de hand van warmtevraagdichtheid en totale warmtevraag. De warmtevraagdichtheid van een gebied wordt berekend op gridcelniveau van 50 bij 50 meter. In [Figuur 2.2](#) is dit weergegeven. Cellen met een lagere warmtedichtheid dan 600 GJ/ha/jaar zijn ongeschikt voor een warmtenet en worden eruit gefilterd.

Vervolgens worden de gridcellen geclusterd tot een aaneengesloten gebied. Het gebied heeft een minimale schaalomvang (warmtevraag) nodig. Voor de warmtevraag is het uitgangspunt dat de minimale omvang groter dan 2.000 GJ/jaar moet zijn. Dit komt neer op ca. 50 woningen met een

warmtevraag van 40 GJ/jaar. Deze grens is in overleg met de projectgroep gekozen met als onderbouwing dat op deze manier er geen kansen voor aquathermie voor kleine netten gemist worden. Bij een (erg) kleine warmtevraag is de financiële haalbaarheid waarschijnlijk laag maar dat volgt dan uit het vervolg van de analyse. In [Figuur 2.2](#) zijn de warmtevraagclusters met een warmtevraag groter dan 2.000 GJ/jaar weergegeven.

In [Bijlage 2](#) is een uitgebreide beschrijving gegeven over de clustering en de informatie die per cluster is verzameld. De informatie over de clusters is input voor de TCO berekening.



Figuur 2.2 | Links: Warmtevraag GRID (50 x 50 meter), Rechts: Warmteclusters met een totale warmtevraag groter dan 2.000 GJ/jaar.

2.7 POTENTIE TEO EN TEA

In deze stap wordt het potentieel van aquathermie bepaald voor de drie concepten. In de uiteindelijke resultaten is geen rekening gehouden met mogelijke bestaande systemen. Die informatie kan namelijk wijzigen over de tijd en is niet uniform centraal beschikbaar. Voor elk potentieel aquathermie project moet dus lokaal onderzocht worden of er al bestaande systemen aanwezig zijn.

TEO met WKO

Bij deze vorm van TEO wordt het systeem gerealiseerd in combinatie met seizoensopslag. Dit betekent dat warmte in de zomer onttrokken wordt uit het oppervlaktewater en in de winter voor verwarming ingezet wordt.

Om de potentie van het oppervlaktewater te berekenen is er een splitsing gemaakt in stromend en stilstaand water. Hieronder is toegelicht hoe de potentie van beide types bepaald is.

Stromend water

Aan de hand van data aangeleverd door Rijkswaterstaat en de waterschappen is de maatgevende lage afvoer³ van de rivieren en beken bepaald in m³/h. Wateren met een maatgevende lage afvoer groter dan 0 zijn aangeduid als stromend. Op basis van interferentieberekeningen met het gevalideerde model van IF en de randvoorwaarden vanuit de STOWA is bepaald dat de potentie van een

³ Het 10 percentiel laagste afvoer dat in de laatste tien beschikbare jaren gemeten is.

stromend waterlichaam bepaald kan worden met een kengetal, namelijk: 5,5 GJ/m³/h/jaar. In bijlage 3.1 is de bepaling van dit kengetal toegelicht.

Stilstaand water

Wateren zonder maatgevende lage afvoer zijn gezien als stilstaand water. Ook hier is op basis van interferentieberekeningen met het gevalideerde model van IF en de randvoorwaarden vanuit de STOWA bepaald dat de potentie bij stilstaand water bepaald kan worden met een kengetal, namelijk: 0,01 GJ/m²/jaar. In Bijlage 3.2 is het kengetal verder toegelicht.

Sommige beken hebben een zeer lage maatgevende afvoer en hierdoor ook een zeer lage potentie als ze doorgerekend worden als stromend water. Voor de stromende wateren is een controle uitgevoerd of de potentie hoger zou liggen als het als stilstaand water doorgerekend wordt. In deze doorrekening is de hoogste potentie aangehouden.

Minimum potentie

Na het bepalen van de potentie van alle wateren hebben we alle wateren met een lage potentie verder buiten beschouwing gelaten. Wateren waar de potentie lager is dan 1.566 GJ/jaar hebben we eruit gefilterd. Dit komt overeen met een TEO systeem van ongeveer 25 m³/uur. Kleinere systemen zijn financieel zeer onaantrekkelijk als bron voor warmtecluster en hebben we daarom buiten beschouwing gelaten.

TEO zonder WKO

De grote rivieren met watertype RRV, zoals de Maas, de Waal en de Rijn, hebben jaarrond een hoge afvoer waardoor het mogelijk is om een TEO-systeem te ontwerpen zonder WKO. Er wordt dan gesproken over een monovalent TEO-systeem. Bij een monovalent TEO-systeem wordt het oppervlaktewater voornamelijk in de winter onttrokken. Bij het ontwerp is het van belang dat de lozingstemperatuur niet onder het vriespunt komt. Hierdoor is een monovalente TEO alleen mogelijk in grotere rivieren waar voor stroming/turbulentie in het oppervlaktewater zit. Hierdoor blijft de oppervlaktewatertemperatuur ook in de winter boven het vriespunt.

Als uitgangspunt is voor een monovalent TEO-systeem een temperatuurverschil van 1,5°C aangehouden zodat het oppervlaktewater niet bevroert. Op basis van 10% van de maatgevende lage afvoer is vervolgens het potentiële bronvermogen bepaald. De potentie van TEO zonder WKO wordt daarom uitgedrukt in een thermisch vermogen, P_t , in kW_t.

$$P_t = Q \cdot \rho_{water} \cdot c_{p,water} \cdot \Delta T = Q \cdot 4180 \cdot 1000 \cdot \Delta T \quad (1)$$

Waarbij Q het debiet in m³/s is. Voor een grote rivier is hiervoor 10% van de maatgevende lage afvoer aangehouden. De ΔT is het temperatuurverschil van, in dit geval 1,5°C.

TEA zonder WKO

De TEA potenties voor alle rioolwaterzuiveringsinstallaties (RWZI) in Gelderland en RES Foodvalley zijn bepaald met behulp van de debieten volgens de warmteatlas. Dit debiet is gedeeld door 24 uur om een debiet per uur te krijgen. Voor TEA-systemen is als uitgangspunt een temperatuurverschil van 5 °C aangehouden, omdat de effluenttemperatuur ook in de winter nog vaak rond de 10°C schommelt. De potentie van een TEA-systeem (zonder WKO) is uitgedrukt in een thermisch vermogen, P_t (vergelijking 1), in kW_t.

2.8 POTENTIE WKO

In deze stap wordt de haalbaarheid van WKO bepaald in het projectgebied. De haalbaarheid van WKO heeft op twee manieren invloed op de haalbaarheid van aquathermie:

- 1 Als de bodem ongeschikt is dan is de optie TEO met WKO niet mogelijk⁴.
- 2 Het bodempotentieel heeft invloed op de kosten van de toepassing van WKO. Het bodempotentieel hebben we vertaald in een kostprijs voor WKO (€/m³/uur). Deze kostprijs wordt meegenomen in de TCO berekening voor het warmtecluster.

De haalbaarheid van WKO hangt van twee aspecten af:

- 1 Het bodempotentieel: het bodempotentieel geeft aan hoe geschikt de ondergrond is voor een WKO. Het bodempotentieel hebben we ingedeeld in classificaties van ongeschikt tot goed geschikt
- 2 De omgevingsbelangen: dit zijn de mogelijke juridische beperkingen op het toepassen van WKO. Soms zorgen ze ervoor dat WKO niet mogelijk is en soms leggen ze beperkingen op aan het toepassen van WKO.

In [Bijlage 4](#) is toegelicht hoe het bodempotentieel is bepaald, hoe dit is vertaald naar geschiktheidsniveaus en welke juridische beperkingen er mogelijk zijn.

2.9 MATCH CLUSTERS MET AQUATHERMIE

In deze stap wordt de koppeling tussen de clusters en de bronnen gemaakt. Per cluster worden alle beschikbare aquathermiebronnen in een straal van 10 kilometer bepaald. De bronnen binnen deze afstand worden gezien als haalbaar, daarbuiten worden de kosten voor het leidingwerk te groot.

Voor elke combinatie cluster/bron wordt bepaald hoe de potentie van de bron zich verhoudt tot de vraag van het cluster. De methode hiervoor verschilt per energieconcept:

- TEO met WKO: de onbalans in de bodem wordt vergeleken met de potentie van de bron in GJ/jaar. Vanwege de WKO is het namelijk mogelijk om warmte in de zomer uit de TEO te halen, op te slaan in de WKO en daarna te gebruiken in de winter. Bij een ZLT-net wordt de koelvraag van de gebouwen meegenomen in de onbalans van de bodem.
- TEO zonder WKO en TEA zonder WKO: aangezien het niet mogelijk is om warmte op te slaan in de WKO moet alle warmtevraag in het koudste uur van het jaar direct geleverd worden vanuit TEO/TEA. Daarom wordt de potentie van TEO/TEA in kW vergeleken met de vraag vanuit het cluster.

Als de potentie van een bron niet toereikend is voor de vraag van een cluster dan is die bron niet gelijk ongeschikt. Ook een systeem waarbij maar een deel van de totale warmtevraag wordt geleverd kan namelijk haalbaar zijn. Als de potentie niet toereikend is dan wordt in de TCO berekening uitgegaan van een collectief aquathermiesysteem uitgelegd op de maximale potentie van de bron.

Op alle gevonden combinaties van bron en cluster wordt een filtering toegepast. Van alle combinaties waarbij de potentie van de bron toereikend is wordt alleen de dichtstbijzijnde verder onderzocht aangezien de andere combinaties sowieso duurder zijn. De kosten voor het leidingwerk liggen bij die combinaties namelijk hoger omdat de afstand tussen bron en cluster groter is. Alle

⁴ Een andere vorm van warmteopslag met ondergrondse of bovengrondse geïsoleerde buffer kan wel een mogelijkheid zijn. De kosten van ondergrondse of bovengrondse buffers zijn doorgaans hoger dan opslag met WKO. Deze optie en kosten zijn niet onderzocht in deze studie.

combinaties waarbij de potentie van de bron niet toereikend is worden wel meegenomen omdat daarbij van tevoren niet te zeggen is welke combinatie duurder is.

De afstand tussen alle combinaties van bron en cluster is input voor de TCO berekening. Daarnaast bepalen het type bron (stromend of stilstaand) en de grote van de warmtevraag (GJ/jaar) de benodigde afstand tussen de in- en uitlaat van het aquathermiesysteem. Dit bepaalt hoeveel leidingwerk er nodig is en wordt meegenomen in de TCO berekening.

2.10 TCO BEREKENING

In deze stap wordt voor alle combinaties van aquathermiebronnen en cluster een TCO per weq berekend. Dit gebeurt voor de verschillende energieconcepten. Ook wordt per cluster de TCO voor een individuele lucht-/waterwarmtepomp bepaald. In [Tabel 2.1](#) staat de input die per combinatie van bron en cluster gebruikt wordt in de TCO berekening. De verhouding tussen de TCO collectief / TCO individueel geeft aan hoe haalbaar een collectief aquathermiesysteem is. Als de verhouding kleiner is dan 1 dan is de TCO van het collectieve aquathermiesysteem lager en dus goedkoper en als de verhouding groter is dan 1 dan is de TCO van het collectieve aquathermiesysteem hoger en dus duurder. In de TCO berekening is nog geen rekening gehouden met subsidies, externe effecten en opslag voor rendement van bijv. warmtebedrijven.

Tabel 2.1 | Input per combinatie van bron en cluster voor de TCO berekeningen.

Clusterafhankelijk	Afhankelijk van aquathermiebron	Afhankelijk van combinatie bron en cluster	Afhankelijk van haalbaarheid WKO
Warmtevraag label B (GJ/jaar)	Stromend of stilstaand	Afstand tussen bron en cluster (m)	Kostprijs WKO (€/m ³ /uur)
Warmtevraag label D (GJ/jaar)		Afstand tussen in- en uitlaat aquathermie (m)	
Koelvraag (GJ/jaar)			
Warmtevraagdichtheid (GJ/ha/jaar)			
Aantal weq			
Aandeel appartementen			
Isolatiekosten label B (€)			
Isolatiekosten label D (€)			

In [Bijlage 5](#) staan de uitgangspunten en kentallen die verder gehanteerd zijn in de TCO berekening.

2.11 VERTALING NAAR GESCHIKTHEID AQUATHERMIE

Per cluster worden mogelijk meerdere aquathermiebronnen en energieconcepten onderzocht. Voor al deze opties wordt een TCO berekend welke wordt vergeleken met de TCO van de individuele warmtepomp. In deze stap wordt per energieconcept de aquathermiebron met de laagste verhouding TCO collectief / TCO individueel geselecteerd. Deze optie wordt vertaald naar een geschiktheidsklasse op basis van de verhouding van de TCO. Dat resulteert in een geschiktheidsniveau voor alle energieconcepten per cluster, indien de energieconcepten toepasbaar zijn in dat cluster. De geschiktheidsklasse zijn in de tabel hieronder beschreven. In [Bijlage 6](#) staat toegelicht hoe de vertaling naar geschiktheidsklasse wordt gemaakt.

Uitstekend potentieel	Een collectief systeem met aquathermie is zonder subsidies en niet rekening houdend met maatschappelijke kosten (netverzwaring) goedkoper dan individuele lucht-/waterwarmtepomp.
Goed potentieel	Een collectief systeem met aquathermie is met subsidies en rekening houdend met maatschappelijke kosten (netverzwaring) goedkoper dan individuele lucht-/waterwarmtepomp.
Ontwikkelbaar potentieel	Een collectief systeem met aquathermie is met subsidies en rekening houdend met maatschappelijke kosten (netverzwaring) vergelijkbaar met individuele lucht-/waterwarmtepomp.
Onderzoekwaardig potentieel	Een collectief systeem met aquathermie is met subsidies en rekening houdend met maatschappelijke kosten (netverzwaring) iets duurder dan individuele lucht-/waterwarmtepomp.
Beperkt potentieel	Een collectief systeem met aquathermie is met subsidies en rekening houdend met maatschappelijke kosten (netverzwaring) veel duurder dan individuele lucht-/waterwarmtepomp.
Geen potentieel	Een collectief systeem met aquathermie is geen optie.

3 Resultaten

Dit hoofdstuk geeft een overzicht in de resultaten en kaarten. Het is niet bedoeld voor interpretatie van de kaarten. Voor de daadwerkelijke resultaten en de interpretatie van de kaarten wordt verwezen naar de GIS-viewer van de provincie Gelderland.

3.1 HET LEZEN VAN DE KAARTEN

In dit hoofdstuk worden alle resultaatkaarten gepresenteerd. Voor een goede weergave van de kaarten is het projectgebied opgedeeld in vier deelregio's, namelijk: west, midden noord, midden zuid en oost.

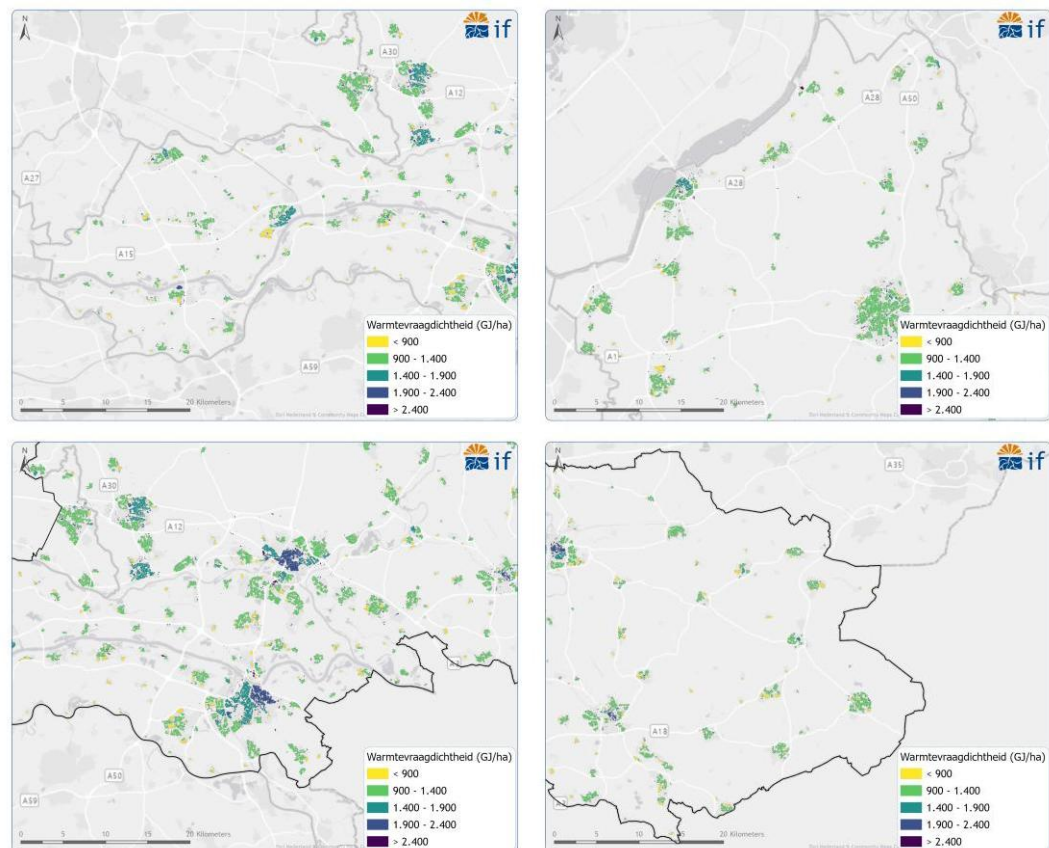
De kaarten zijn vervolgens verder onderverdeeld op basis van de verschillende stappen uit hoofdstuk [2](#) en worden in dit hoofdstuk als volgt gepresenteerd:

- **Paragraaf [3.2](#):** In deze paragraaf zijn de warmtevraagdichtheid en warmtevraag van de verschillende warmteclusters voor alle deelregio's in kaart gebracht.
- **Paragraaf [3.3](#):** In deze paragraaf is de berekende potentie voor TEO en TEA voor alle deelregio's in kaart gebracht.
- **Paragraaf [3.4](#):** In deze paragraaf is de geschiktheid voor bodemenergie (WKO) voor alle deelregio's in kaart gebracht.
- **Paragraaf [3.5](#):** In deze paragraaf is de koppeling tussen TEO en de verschillende warmteclusters op basis van geschiktheidsniveaus in kaart gebracht.
- **Paragraaf [3.6](#):** In deze paragraaf is de koppeling tussen TEA en de verschillende warmteclusters op basis van geschiktheidsniveaus in kaart gebracht.
- **Paragraaf [3.7](#):** In deze paragraaf is per cluster het energieconcept weergegeven dat als beste uit de analyse kwam.

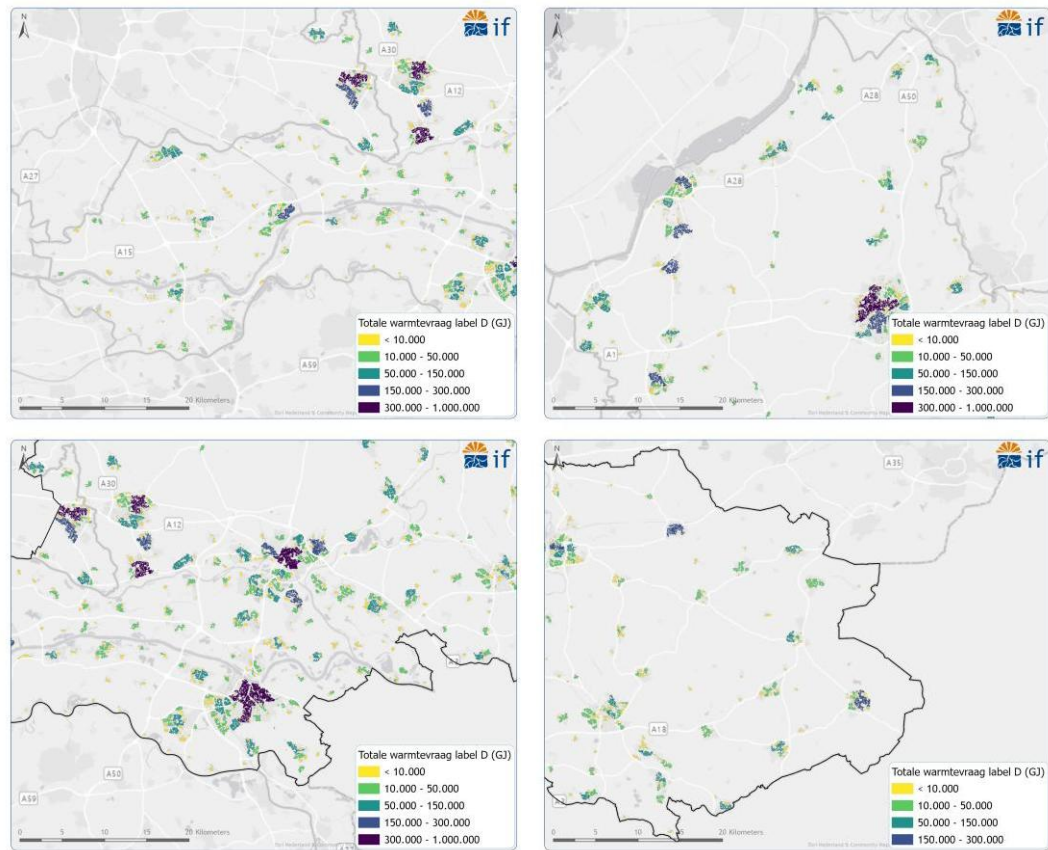
Als laatste staat in paragraaf [3.8](#) een overzicht van de resultaten in tabellen.

3.2 KAARTEN WARMTEVRAAG EN WARMTECLUSTERS

In de onderstaande kaarten zijn de warmtevraagdichtheid en totale warmtevraag van de verschillende warmteclusters weergegeven voor de regio's west, midden noord, midden zuid en oost.



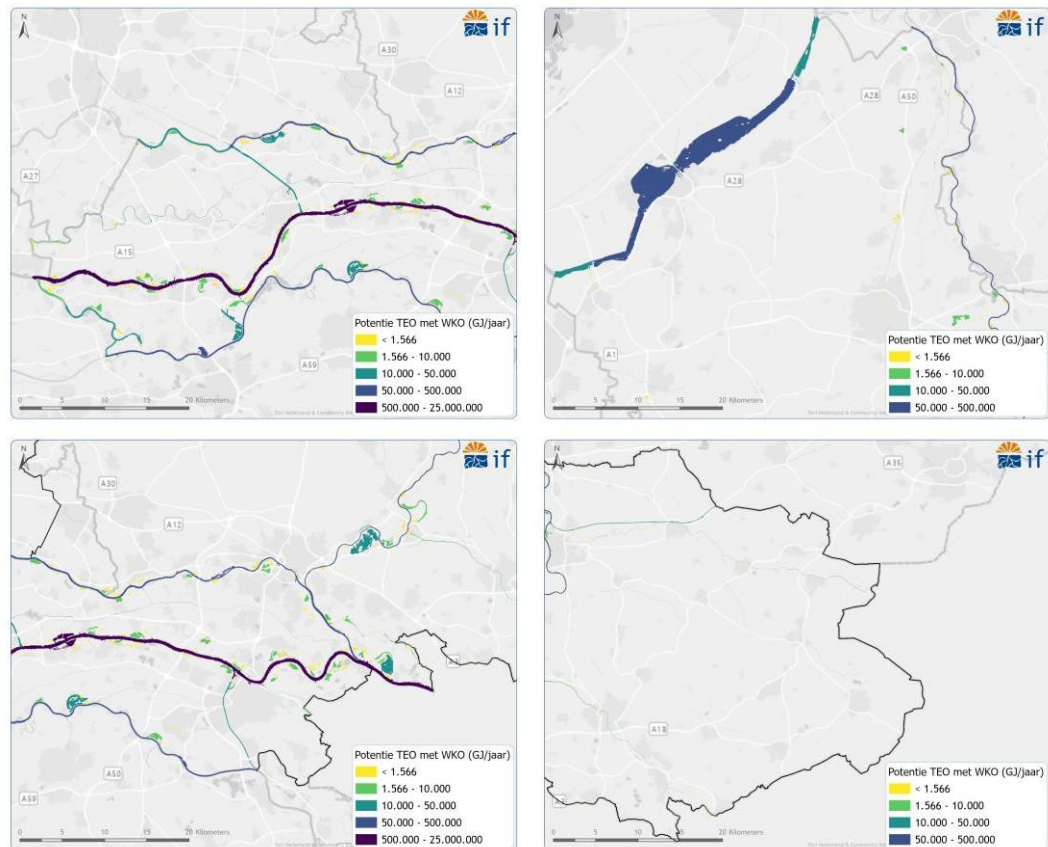
Figuur 3.1 | Kaarten van het projectgebied met de gemiddelde warmtevraagdichtheid (GJ/ha/jaar) per cluster. Linksboven = west, rechtsboven = midden noord, linksonder = midden zuid en rechtsonder = oost.



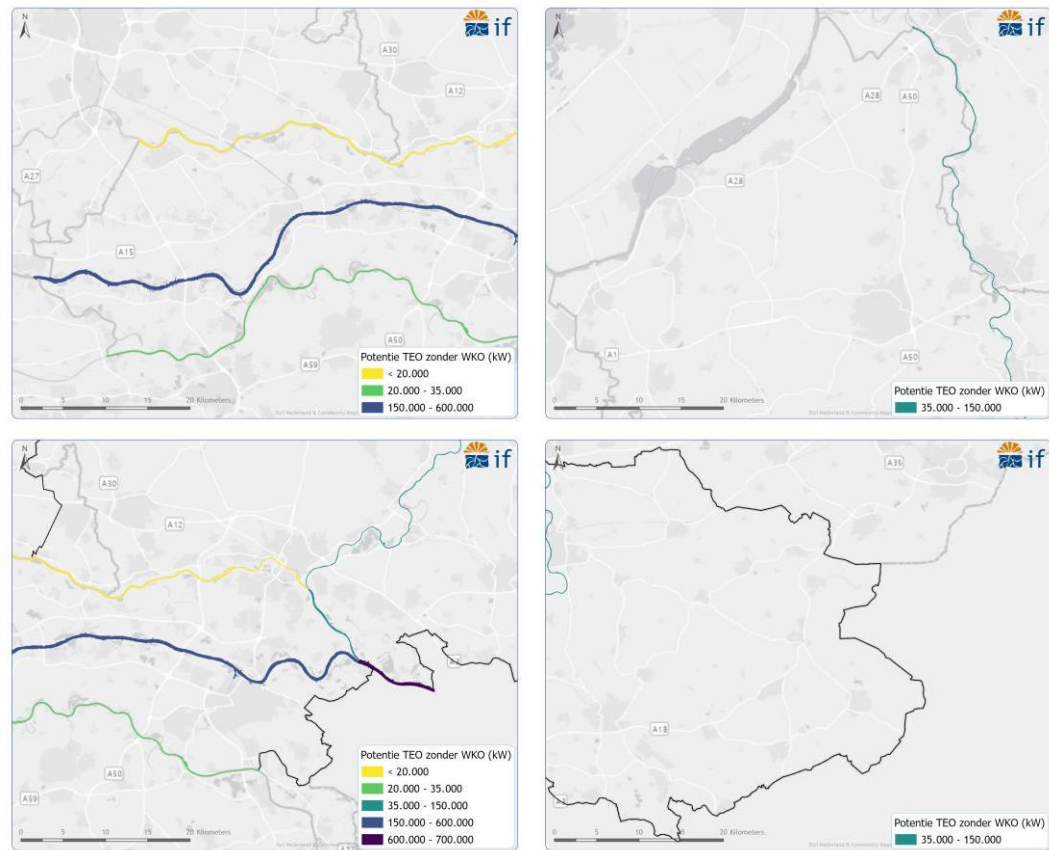
Figuur 3.2 | Totale warmtevraag per warmtecluster (GJ/jaar) na isolatie tot minimaal energielabel D. Met energielabel D is het voor bijna alle gebouwen mogelijk om met een MT-warmtenet verwarmd te worden. Linksonder = west, rechtsboven = midden noord, linksonder = midden zuid en rechtsonder = oost.

3.3 KAARTEN POTENTIE AQUATHERMIE (TEO & TEA)

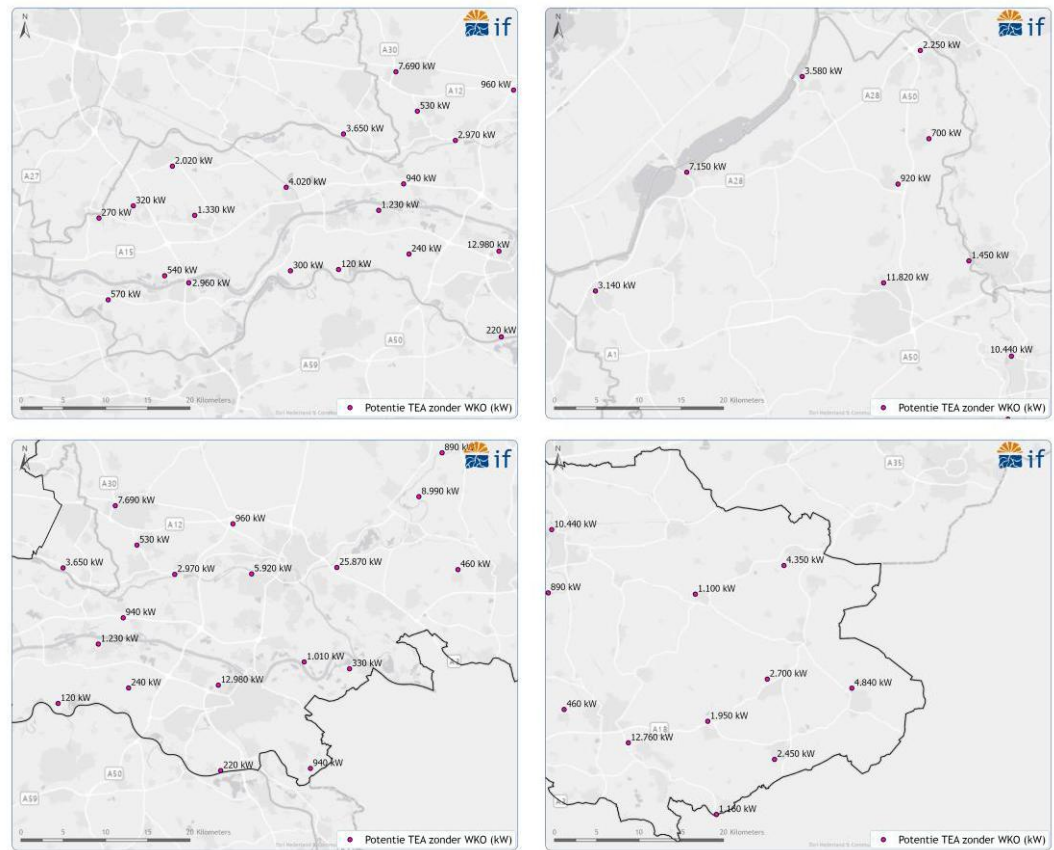
In de onderstaande kaarten is de berekende potentie voor TEO en TEA weergegeven voor de regio's west, midden noord, midden zuid en oost. Voor TEO is de potentie weergegeven voor het concept met WKO en het concept zonder WKO.



Figuur 3.3 | Potentie van TEO met WKO (GJ/jaar). Linksonder = west, rechtsboven = midden noord, linksonder = midden zuid en rechtsonder = oost.



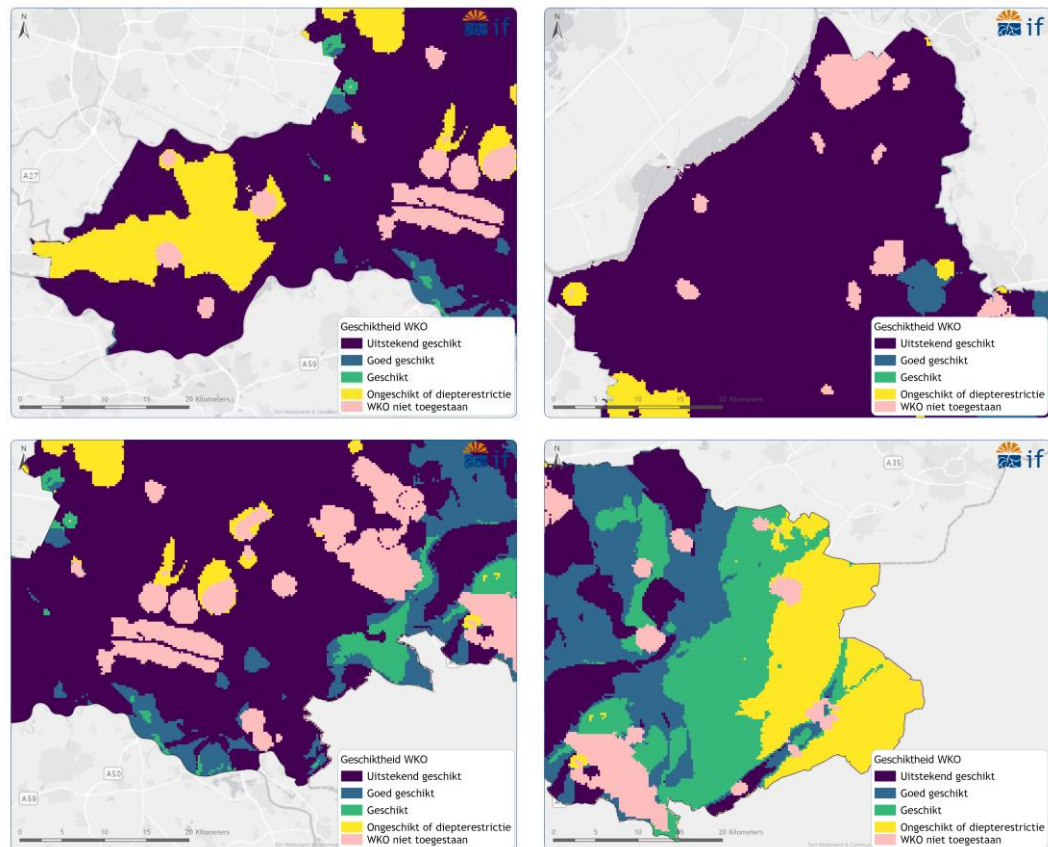
Figuur 3.4 | Potentie van TEO zonder WKO (kW). Dit is alleen mogelijk in de grote rivieren in het projectgebied. Linksboven = west, rechtsboven = midden noord, linksonder = midden zuid en rechtsonder = oost.



Figuur 3.5 | Potentie TEA zonder WKO (kW). Linksonder = west, rechtsboven = midden noord, linksonder = midden zuid en rechtsonder = oost.

3.4 KAARTEN POTENTIE WKO

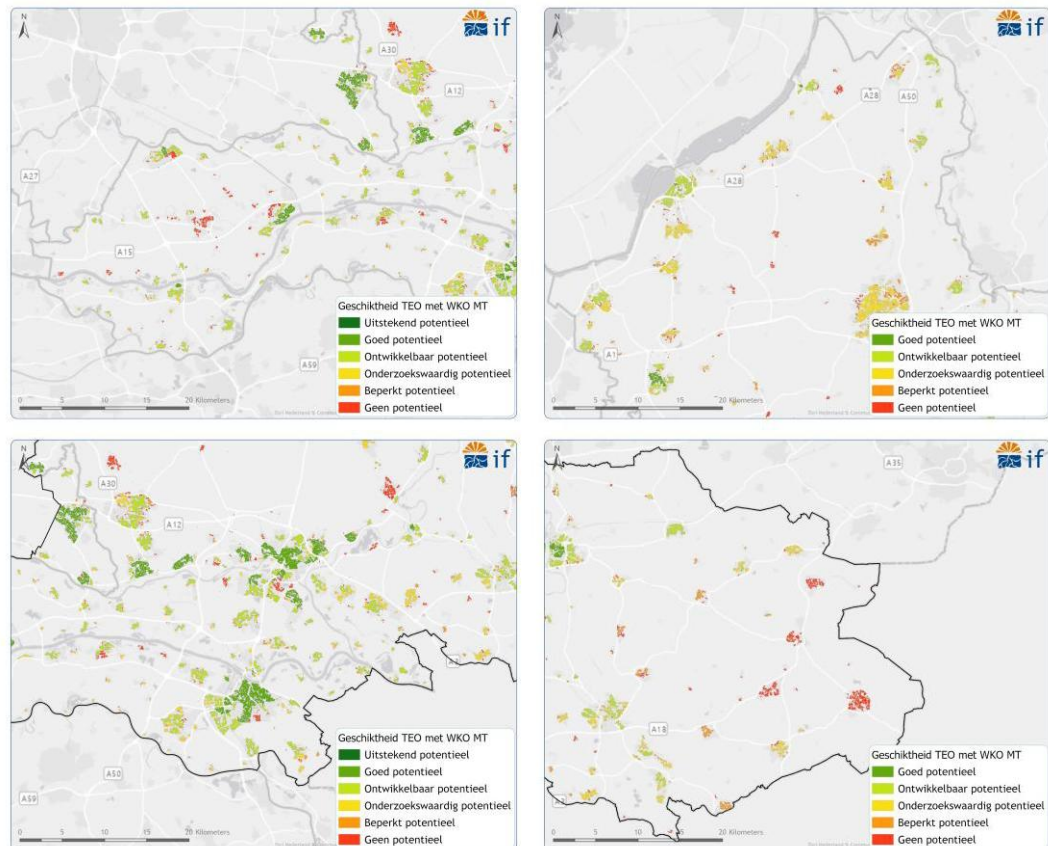
In de onderstaande kaarten is de geschiktheid voor bodemenergie (WKO) weergegeven voor de regio's west, midden noord, midden zuid en oost.



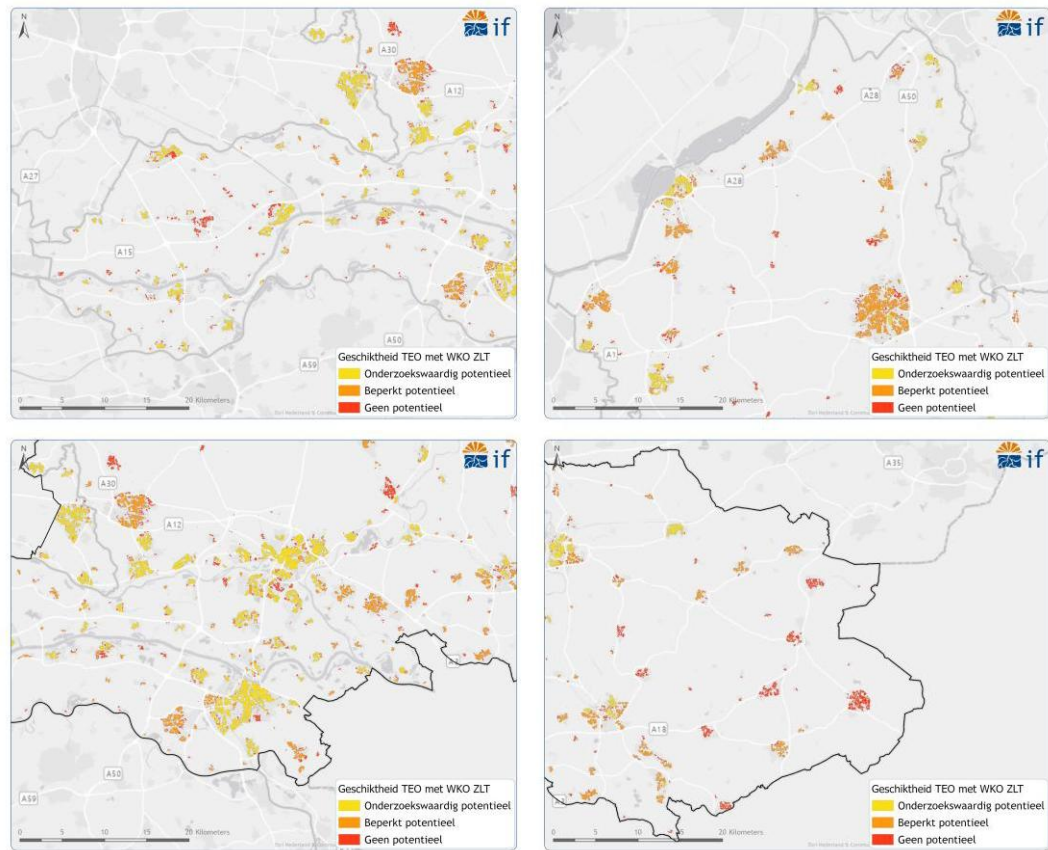
Figuur 3.6 | Geschiktheid WKO. In de gele gebieden geldt mogelijk een diepterestrictie waardoor per locatie maatwerk nodig is om de geschiktheid van WKO te bepalen. Linksboven = west, rechtsboven = midden noord, linksonder = midden zuid en rechtsonder = oost.

3.5 KAARTEN KOPPELING WARMTECLUSTERS EN TEO

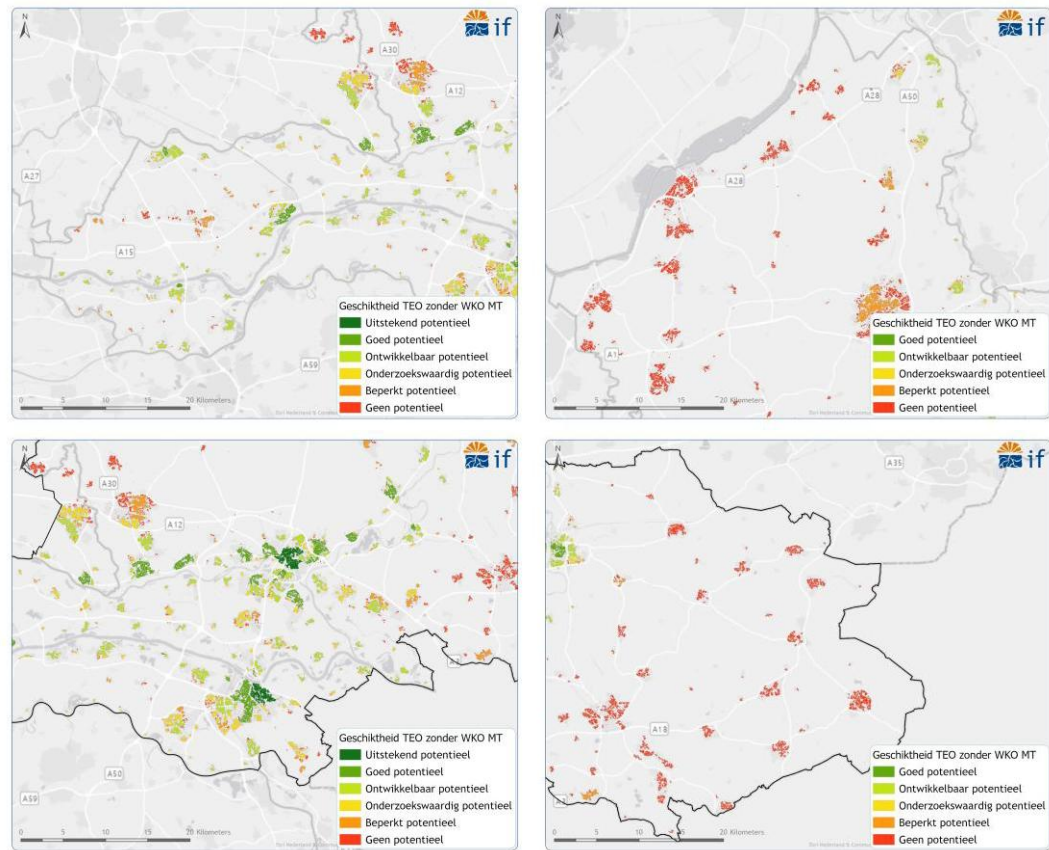
In de onderstaande kaarten is de koppeling tussen TEO en de verschillende warmteclusters op basis van geschiktheidsniveaus weergegeven voor de regio's west, midden noord, midden zuid en oost. Dit is gedaan voor de vier energieconcepten met TEO: met WKO MT, met WKO ZLT, zonder WKO MT en zonder WKO ZLT.



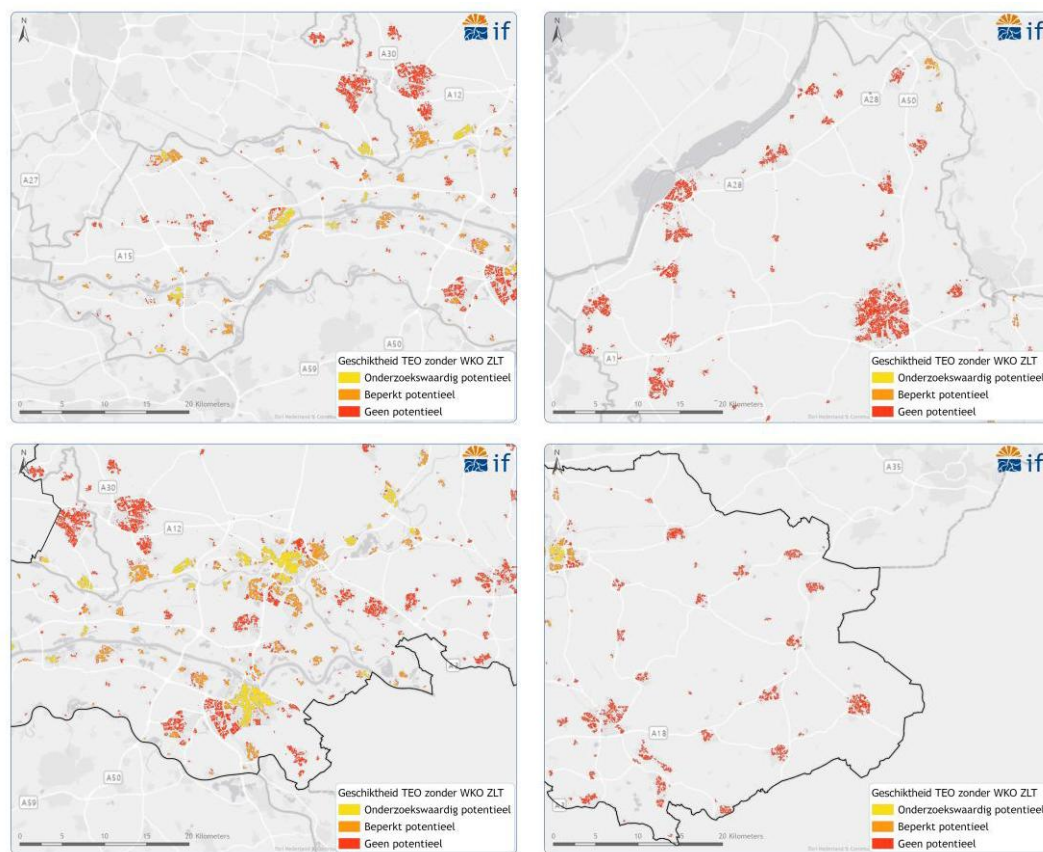
Figuur 3.7 | Haalbaarheid van TEO met WKO en een MT-warmtenet per warmtecluster. Linksonder = west, rechtsboven = midden noord, linksonder = midden zuid en rechtsonder = oost.



Figuur 3.8 | Haalbaarheid van TEO met WKO en een ZLT-net per warmtecluster. Linksboven = west, rechtsboven = midden noord, linksonder = midden zuid en rechtsonder = oost.



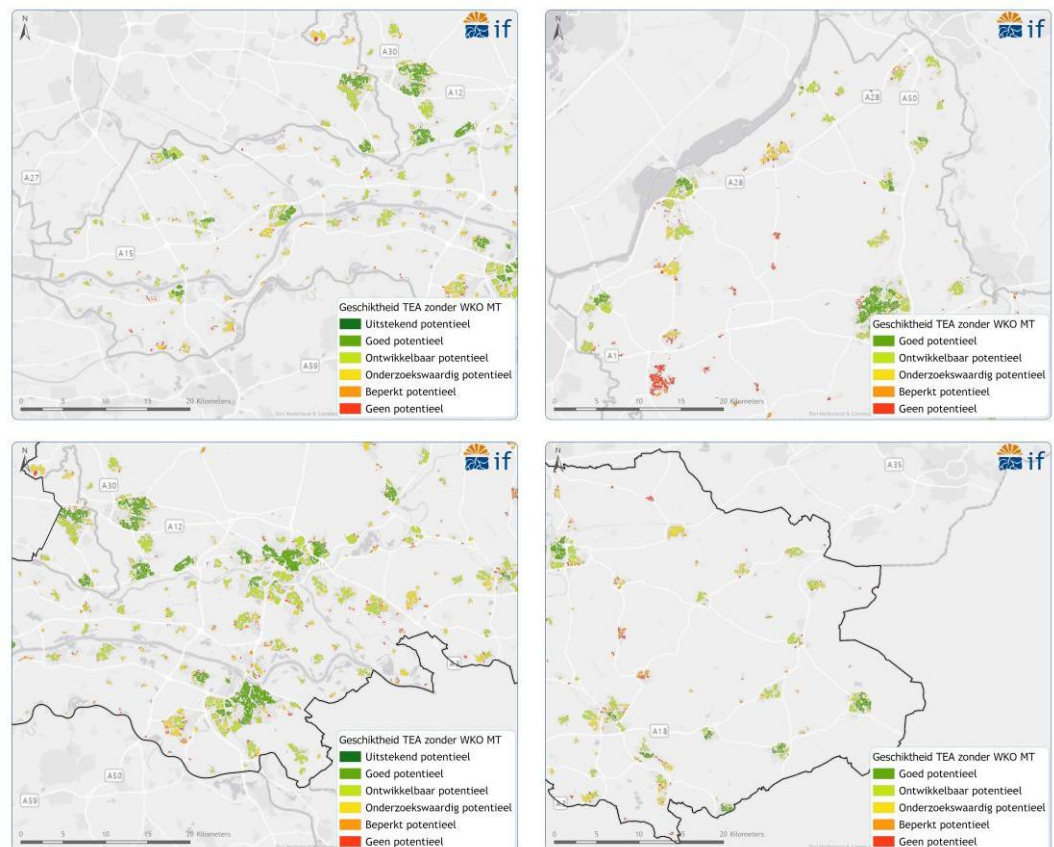
Figuur 3.9 | Haalbaarheid van TEO zonder WKO en een MT-warmtenet per warmtecluster. Linksboven = west, rechtsboven = midden noord, linksonder = midden zuid en rechtsonder = oost.



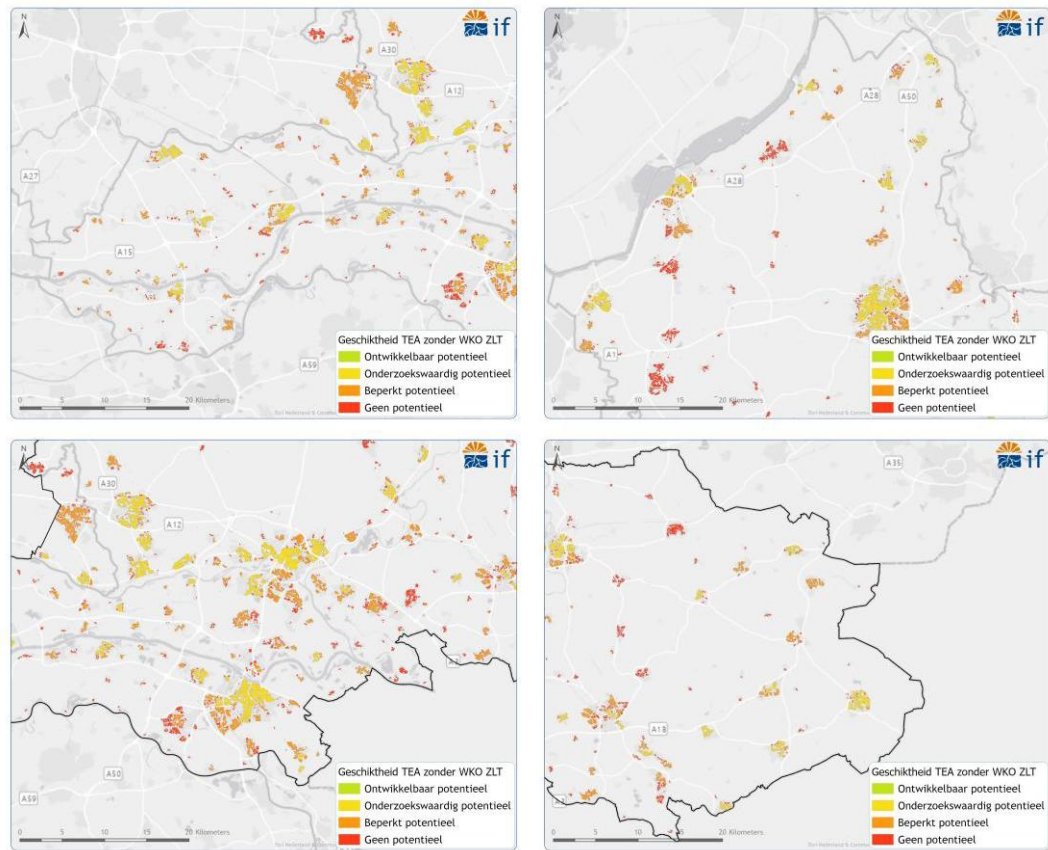
Figuur 3.10 | Haalbaarheid van TEO zonder WKO en een ZLT-net per warmtecluster. Linksboven = west, rechtsboven = midden noord, linksonder = midden zuid en rechtsonder = oost.

3.6 KAARTEN KOPPELING WARMTECLUSTERS EN TEA

In de onderstaande kaarten is de koppeling tussen TEA en de verschillende warmteclusters op basis van geschiktheidsniveaus weergegeven voor de regio's west, midden noord, midden zuid en oost. Dit is gedaan voor de twee energieconcepten met TEA: MT en ZLT.



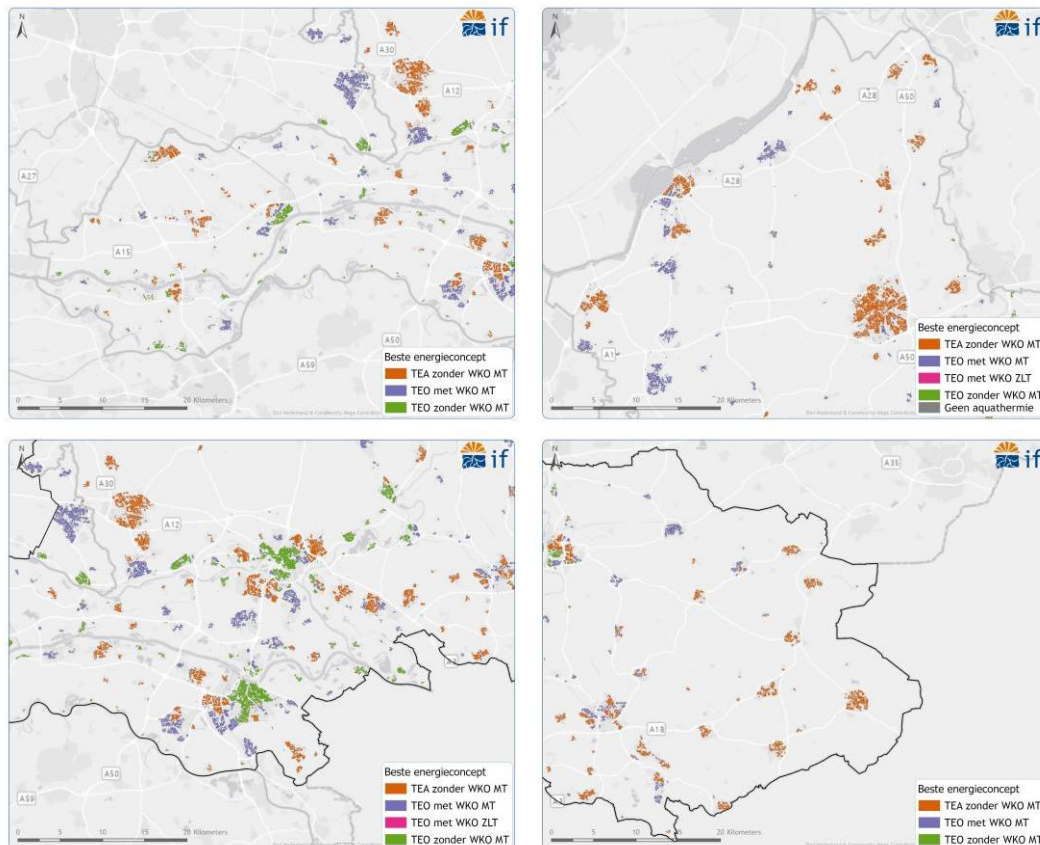
Figuur 3.11 | Haalbaarheid van TEA zonder WKO en een MT-warmtenet per warmtecluster. Linksboven = west, rechtsboven = midden noord, linksonder = midden zuid en rechtsonder = oost.



Figuur 3.12 | Haalbaarheid van TEA zonder WKO en een ZLT-net per warmtecluster. Linksboven = west, rechtsboven = midden noord, linksonder = midden zuid en rechtsonder = oost.

3.7 KAARTEN BESTE ENERGIECONCEPT PER CLUSTER

In de onderstaande kaarten per cluster het beste energieconcept weergegeven. Met beste energieconcept wordt het concept bedoeld met de laagste waarde voor TCO collectief / TCO individueel en dus het beste geschiktheidsniveau. De verschillen met andere concepten zijn soms klein dus een ander concept is soms bijna net zo geschikt voor het cluster.



Figuur 3.13 | Beste energieconcept per warmtecluster. De verschillen met andere energieconcepten zijn soms klein dus ook andere concepten kunnen bijna net zo goed zijn als het beste concept.

3.8 OVERZICHT RESULTATEN

In [Tabel 3.1](#) staat informatie over het aantal weq in het projectgebied en hoeveel daarvan in een warmtecluster liggen. In totaal zijn er 1.940 clusters bepaald in de analyse.

Tabel 3.1 | Informatie over het aantal weq in het projectgebied.

	Projectgebied	In een warmtecluster
Aantal woningen bestaande bouw	952.000	644.000
Aantal woningen nieuwbouw	103.000	72.000
Aantal weq utiliteit	244.000	135.000
Totaal aantal weq	1.299.000	852.000

In [Tabel 3.2](#) staat hoe haalbaar aquathermie is voor de clusters en het aantal weq. Hierbij is gekeken naar het beste energieconcept per cluster. Er is geen rekening gehouden met de potentie van aquathermie ten opzichte van de vraag. Er kan dus (nog) niet gezegd worden dat bijvoorbeeld alle

291.000 weq die in een cluster met goed potentieel liggen ook echt verwarmd kunnen worden met aquathermie. Mogelijk is de potentie van de aquathermiebronnen namelijk niet toereikend. Het geeft echter wel aan dat er voor 291.000 weq goede mogelijkheden voor aquathermie zijn. In lokale haalbaarheidsstudies moet gekeken worden naar het verdelingsvraagstuk van de potentie.

Tabel 3.2 | Haalbaarheid aquathermie naar geschiktheidsniveau. Per cluster is het beste energieconcept geselecteerd. Er is bij het aantal weq geen rekening mee gehouden of de potentie van aquathermie toereikend is voor het hele cluster.

Haalbaarheid aquathermie	Aantal clusters	Aantal weq
Uitstekend potentieel	3	64.000
Goed potentieel	154	291.000
Ontwikkelaar potentieel	628	336.000
Onderzoekswaardig potentieel	608	116.000
Beperkt potentieel	329	30.000
Geen potentieel	218	15.000
Totaal	1940	852.000

In [Tabel 3.3](#) staat hoe vaak de energieconcepten als beste uit de analyse komen voor een cluster. Er is te zien dat TEA MT het vaakst als beste uit de analyse komt. Hierbij is er echter nog geen rekening mee gehouden of de potentie van de RWZI toereikend is voor het volledige cluster en mogelijk meerdere clusters die erop worden aangesloten.

Tabel 3.3 | Beste energieconcept per cluster.

Beste energieconcept	Aantal clusters	Aantal weq
TEO met WKO MT	717	249.000
TEO met WKO ZLT	2	45
TEO zonder WKO MT	392	191.000
TEA MT	815	410.000
Geen aquathermie mogelijk	14	2.000

4 Gebruikershandleiding

4.1 GEBRUIK VAN DE GIS-VIEWER

De GIS-viewer is een verzameling statische kaarten die geraadpleegd kunnen worden om de geschiktheid van aquathermie te bepalen. [Tabel 4.1](#) geeft een overzicht van de aanwezige lagen in de viewer.

Tabel 4.1 | Overzicht aanwezige kaartlagen in de GIS-viewer.

Laag	Wat laat de laag zien?	Opmerking
Energieconcepten		
Beste energieconcept	Het energieconcept per cluster met de beste haalbaarheid	Als een cluster wordt aangeklikt ligt de bijbehorende aquathermie bron bij het best concept op
Geschiktheid beste energieconcept	Geschiktheid van het concept dat de beste haalbaarheid heeft	
Beste verhouding potentie over vraag	Geeft aan in hoeverre de bron van het beste concept genoeg potentie heeft om te voldoen aan de vraag van het cluster. Als de verhouding onder 1 ligt dan is de potentie niet toereikend voor het hele cluster. Een ander concept heeft mogelijk wel genoeg potentie of er moet een andere bron worden toegevoegd (lucht, geothermie etc.) om het hele cluster duurzaam te verwarmen.	
Alle details energieconcepten	Het energieconcept per cluster met de beste haalbaarheid	Door op een cluster te klikken wordt veel informatie zichtbaar in een scrollbare tabel. Zie Tabel 4.2 voor meer toelichting
Geschiktheid TEA zonder WKO ZLT	Geschiktheid van het collectieve systeem met TEA zonder WKO met ZLT-net	
Geschiktheid TEA zonder WKO MT	Geschiktheid van het collectieve systeem met TEA zonder WKO met MT-net	
Geschiktheid TEO zonder WKO ZLT	Geschiktheid van het collectieve systeem met TEO zonder WKO met ZLT-net	
Geschiktheid TEO zonder WKO MT	Geschiktheid van het collectieve systeem met TEO zonder WKO met MT-net	
Geschiktheid TEO met WKO ZLT	Geschiktheid van het collectieve systeem met TEO met WKO met ZLT-net	
Geschiktheid TEO met WKO MT	Geschiktheid van het collectieve systeem met TEO met WKO met MT-net	
Warmtevraag		
Totale warmtevraag label D (GJ)	De totale warmtevraag per cluster nadat alle woningen zijn geïsoleerd tot minimaal energielabel D	
Warmtevraagdichtheid (GJ/ha)	De gemiddelde warmtevraagdichtheid van het cluster op basis van de huidige totale warmtevraag zonder isolatie	
Potentie bronnen		
Potentie WKO resultaten	De potentie van WKO zoals beschreven in paragraaf 2.8	
Potentie TEA zonder WKO (kW)	De potentie van TEA zoals beschreven in paragraaf 2.7	

Potentie TEO met WKO (GJ/jaar)	De potentie van TEA met WKO zoals beschreven in paragraaf 2.7
Potentie TEO zonder WKO (kW)	De potentie van TEO zonder WKO zoals beschreven in paragraaf 2.7

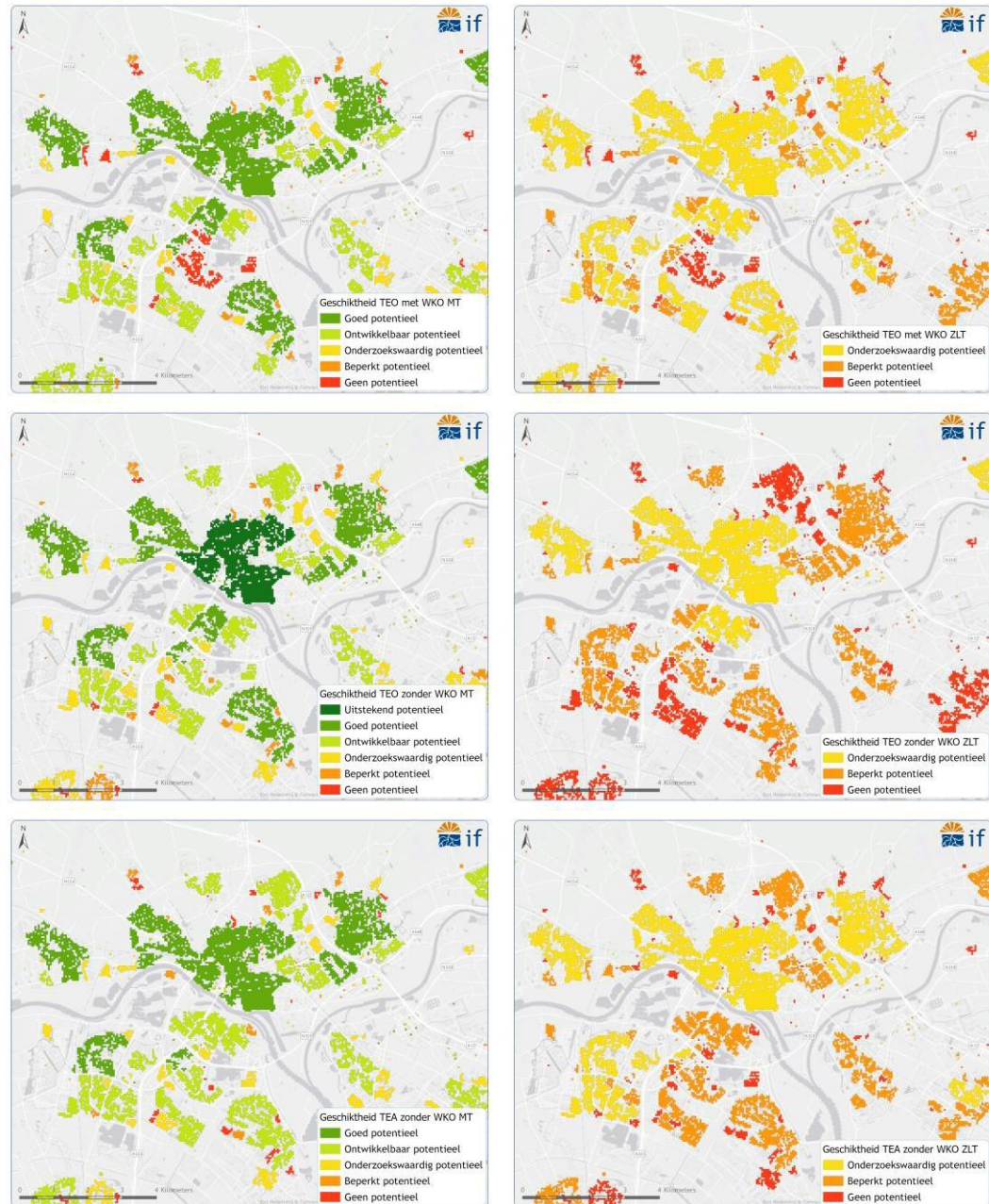
Bestuurlijke grenzen

RES regio's

Gemeenten Gelderland

Projectgebied

In [Figuur 4.1](#) zijn de geschiktheidskaarten van aquathermie voor de verschillende concepten voor Arnhem weergegeven als voorbeeld.



Figuur 4.1 | Haalbaarheid van aquathermie met verschillende energieconcepten in de regio Arnhem.

Als de gebruiker in de kaart klikt op een warmtecluster wordt een informatie tabel getoond die eruit ziet zoals in [Tabel 4.2](#). In dit specifieke geval gaat het om een warmtecluster in Arnhem. De informatie bestaat uit alle input die benodigd is voor het berekenen van de TCO. Dit is voor een deel input die specifiek is voor het cluster zoals warmtevraagdichtheid en voor een deel hangt het af van de specifieke aquathermiebron zoals afstand tussen cluster en de bron.

Daarnaast zijn voor elk energieconcept de resultaten weergegeven bestaande uit onder andere de haalbaarheid van dat concept en het OBJECTID van de bijbehorende aquathermiebron. Met het OBJECTID kan de bijbehorende aquathermiebron gevonden worden. Een ander belangrijk resultaat

is de verhouding potentie over vraag. Dit geeft aan in hoeverre de bron genoeg potentie heeft om te voldoen aan de vraag van het cluster. Als de verhouding onder de 1 ligt dan is de potentie niet toereikend voor het hele cluster. Een ander concept heeft mogelijk wel genoeg potentie of er moet een andere bron worden toegevoegd (lucht, geothermie etc.) om het hele cluster duurzaam te verwarmen.

Verder is ook het beste energieconcept genoemd. Dit is 1 van de 6 energieconcepten die ook los benoemd staan. Het beste energieconcept is bepaald op basis van de verhouding TCO collectief / TCO individueel.

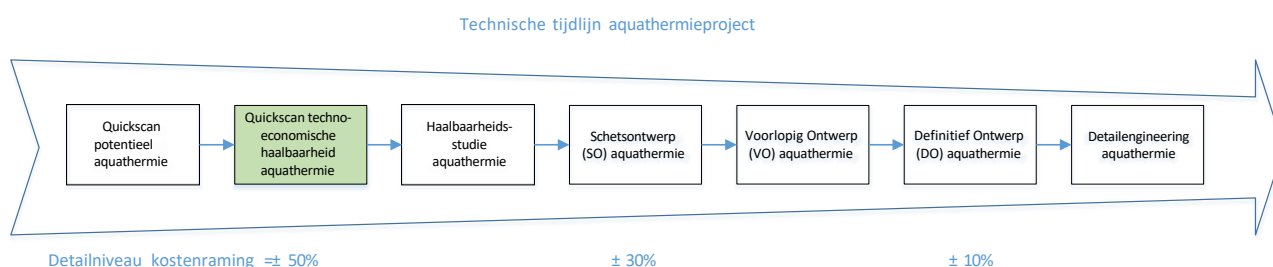
Tabel 4.2 | Informatie tabel voor een warmtecluster in Arnhem.

Attribuut	Resultaat
Resultaten voor het beste energieconcept	
Beste OBJECTID aquathermie	181
Beste energieconcept	TEO_met_WKO_MT
Beste verhouding potentie over vraag	0,433
Beste verhouding tco	0,999
Beste geschiktheid	Uitstekend geschikt
Resultaten voor alle energieconcepten met ook info over de afstand tot het cluster. Hieronder zijn alleen de resultaten voor 1 concept weergegeven. In de GIS viewer zijn de resultaten voor alle concepten weergegeven.	
TEA_MT OBJECTID aquathermie	17
TEA_MT verhouding potentie over vraag	0,155
TEA_MT verhouding tco	1,078
TEA_MT geschiktheid	Goed potentieel
TEA_MT afstand cluster en aquathermie (m)	3.321
TEA_MT afstand in- en uitlaat (m)	200
Informatie van het cluster dat is gebruikt als input voor de TCO berekening	
Totale warmtevraag label B (GJ)	913.423
Totale warmtevraag label D (GJ)	967.931
Koudevraag (GJ)	83.735
Aantal weq	36.826
Aandeel appartementen	0,67
Isolatiekosten label B (€ excl. btw)	78.026.740
Isolatiekosten label D (€ excl. btw)	18.533.620
Kosten WKO (€/m3/uur)	3.474
Warmtevraagdichtheid (GJ/ha)	2.349
Aantal woningen nieuwbouw	9.528
Aantal woningen bestaande bouw	20.663
Aantal weq utiliteit	6.635

4.2 HANDELINGSPERSPECTIEF

De resultaten van dit onderzoek geven meer inzicht in de techno-economische haalbaarheid van aquathermie vanuit het perspectief van de gebouwen. Dit is een extra stap die op deze schaal

(provincie) nog niet gezet is in de provincie Gelderland. Het geeft de gemeenten, bewoners, initiatiefnemers een eerste inzicht op quickscan niveau of een wijk, dorp of stad geschikt is voor aquathermie. Als uit de quickscan techno-economische haalbaarheid aquathermie blijkt dat aquathermie geschikt is voor een gebied volgt logischerwijs een haalbaarheidsstudie. In [Figuur 4.2](#) is de technische tijdlijn van een collectief aquathermieproject weergegeven. Het groene blok stelt de stap van het huidige onderzoek voor de provincie Gelderland voor.



Figuur 4.2 | Technische tijdlijn aquathermieproject. Een aquathermieproject evalueert van een quickscan tot detail engineering, voordat het gerealiseerd wordt. Het detailniveau van het ontwerp en bijbehorende kostenraming evalueert mee. Het groene blok stelt de stap van het huidige onderzoek voor.

Een quickscan is een globaal onderzoek gebaseerd op algemene kengetallen die een eerste indruk geven van de technische en financiële haalbaarheid van een project. In het huidige onderzoek is lokale informatie zoveel mogelijk veralgemeniseerd en geautomatiseerd om op een efficiënte manier berekeningen te kunnen maken ten aanzien van de haalbaarheid van aquathermie. De lokale informatie die gebruikt is, zit op het vlak van warmtevraag, warmtevraagdichtheid, warmteaanbod en afstand tussen vraag en aanbod (zie hoofdstuk [2](#)). Dit heeft geresulteerd in de beschikbare kaarten (zie GIS-viewer en hoofdstuk [3](#)).

Het detailniveau van een “lokale haalbaarheidsstudie” is op regionaal/provinciaal/landelijkniveau bijna onhaalbaar en niet wenselijk om dit in GIS-kaarten te verwerken. Het is onhaalbaar, omdat er heel veel variabelen zijn die de haalbaarheid van aquathermie kunnen bepalen en er daarmee veel handmatig werk aan te pas komt. Het is onwenselijk, omdat elke mogelijke aanpassing of wijziging veel werk en tijd kost met weinig toegevoegde waarde. Het is daarom belangrijk om snel de stap naar een lokale haalbaarheidsstudie te zetten, waarbij nieuwe lokale informatie wordt toegepast om het detailniveau en de haalbaarheid van aquathermie meer specifiek te onderzoeken. Om de stap naar een lokale haalbaarheidsstudie te zetten is het waardevol om met de punten in onderstaande tabel rekening te houden. Daarnaast is ook het effect van de STOWA norm en het koppelen van meerdere clusters aan één RWZI interessant om rekening mee te houden. Dit bespreken we in paragraaf [4.3](#) en paragraaf [4.4](#) respectievelijk.

Variabele	Uitgangspunt	Toelichting
Type energie-concept	Bij de ZLT opties gaan we uit een warmtepomp per woning.	<u>TIP:</u> Een potentiële optimalisatie voor de energieconcepten met een ZLT-net is om voor appartementen complexen 1 centrale warmtepomp te realiseren. Dit geeft schaalvoordeel en zorgt voor lagere kosten. Het is afhankelijk van de lokale situatie of een centrale warmtepomp mogelijk is en hoeveel voordeel dat oplevert.
Koppeling clusters	Geen koppeling	In dit onderzoek hebben we voor elk warmtecluster los de haalbaarheid van aquathermie bepaald. Een mogelijke optimalisatie is om meerdere

		warmteclusters te koppelen en aan te sluiten op 1 aquathermiesysteem. Dit geeft onder andere voordelen in het benodigde leidingwerk tussen de aquathermie bron en het cluster. Dit moet echter in een lokale haalbaarheidsstudie onderzocht worden want grotere clusters hebben ook meer voorinvesteringen nodig wat de risico's groter maakt. Daarnaast zijn grotere cluster organisatorisch complexer.
Grootte van clusters	Maximaal potentieel	In het onderzoek is gezocht naar benutting van zoveel mogelijk potentieel. Hiervoor is een minimale warmtevraagdichtheid per gridcel van 50 x 50 meter aangenomen. Het kan zijn dat er binnen een cluster optimalisaties zijn, door clusters te verkleinen en kosten te reduceren. <u>TIP:</u> In een lokale haalbaarheidsstudie kan verder ingezoomd worden op lokale situatie om binnen een cluster nog onderverdeling te maken in energieconcept bijv. collectief MT, collectief ZLT en zelfs individueel om de business case te optimaliseren.
Type gebouwen	Woningen	Deze variabele zit indirect verwerkt in de warmtevraagdichtheid. Op dit quickscan (detail)niveau zegt het type gebouw nog niet meer over de haalbaarheid. <u>TIP:</u> Uiteraard kan in één warmtecluster wel een specifiek gebied met flats, appartementen of rijwoningen zitten. Deze hebben vaak een hogere warmtevraagdichtheid en zijn meer geschikt (minder maatwerk) dan vrijstaande woningen.
Type afnemers	Geen onderscheid	<u>TIP:</u> Het type afnemer is meer een organisatorische variabele dan een technische. Het wordt geadviseerd naar gebieden op zoek te gaan binnen een geschikt aquathermiegebied met grote afnemers of één type afnemer (bijv. woningcorporatie).
Hoogteverschil	0	In het onderzoek is hoogteverschil tussen warmtevraag en -aanbod niet meegenomen. Dit zou een rol kunnen spelen bij met name grotere transportafstanden. Het elektriciteitsverbruik van het te verpompen water wordt groter bij grote hoogteverschillen. Dit is lokaal maatwerk.
TEO potentieel	Zie paragraaf 2.7	Het werkelijke TEO potentieel is altijd maatwerk. Het type water, vergunningseisen, inpassing systeem, omliggende systemen/dorpen zijn lokale details die in de haalbaarheidsstudie moeten worden ingebracht. In de huidige studie is er geen rekening gehouden met bestaande systemen. Dit moet in een lokale studie verder onderzocht worden.
Elektriciteitsprijs	Zie Bijlage 5	<u>TIP:</u> De elektriciteitsprijs is een zeer onzekere variabele. Voor de relatieve vergelijking tussen individuele systemen en een collectief systeem blijft de vergelijking grotendeels in stand. Zowel de particuliere elektriciteitsprijs als de zakelijke elektriciteitsprijs stijgen mee. De elektriciteitsprijs moet dus vooral beschouwd worden vanuit het algemene perspectief van de bewoner en zijn lasten/kosten. Wij adviseren om dit een onderdeel van de haalbaarheidsfase te maken. Daarnaast adviseren we om in de haalbaarheidsfase vanuit de ondernemerskant een aantal scenario's van de elektriciteitsprijs in een gevoeligheidsanalyse te berekenen.

4.3 THEORETISCHE POTENTIE

Bij het bepalen van de potentie van TEO is in dit onderzoek rekening gehouden met de STOWA norm, zie paragraaf 2.7. Het is echter mogelijk TEO systemen te realiseren die niet voldoen aan de STOWA norm, maar die meer warmte onttrekken aan het oppervlaktewater. Om hiervoor een vergunning te verkrijgen is wel maatwerk nodig wat het proces complexer maakt. Ter indicatie hebben we gekeken naar wat het effect is van het loslaten van de STOWA norm en te rekenen met de theoretische potentie. Dit hebben we alleen gedaan voor de optie TEO met WKO omdat het daar de meeste invloed heeft. 100% van de potentie onttrekken is praktisch niet realistisch maar het geeft wel een beeld van wat er mogelijk is.

In Tabel 4.3 is weergegeven wat het effect is van het gebruik van de theoretische potentie op de haalbaarheid van aquathermie. Er is te zien dat er meer clusters in de categorie goed en ontwikkelbaar vallen en minder in slechtere categorieën. Het effect op het aantal weq valt echter mee.

Tabel 4.3 | Haalbaarheid aquathermie naar geschiktheidsniveau waarbij is gerekend met de STOWA norm en de theoretische potentie voor TEO met WKO.

Haalbaarheid aquathermie	STOWA norm		Theoretische potentie	
	Aantal clusters	Aantal weq	Aantal clusters	Aantal weq
Uitstekend potentieel	3	64.000	3	64.000
Goed potentieel	154	291.000	169	302.000
Ontwikkelbaar potentieel	628	336.000	701	355.000
Onderzoekswaardig potentieel	608	116.000	609	98.000
Beperkt potentieel	329	30.000	288	23.000
Geen potentieel	218	15.000	170	11.000
Totaal	1940	852.000	1940	852.000

In Tabel 4.4 is te zien wat het effect is van de theoretische potentie op het beste energieconcept per cluster. De optie TEO met WKO MT is vaker het beste energieconcept. Aangezien alleen voor dit concept de potentie is verhoogd door te rekenen met de theoretische potentie is het logisch dat dit concept vaker als beste uit de analyse komt.

Tabel 4.4 | Beste energieconcept per cluster waarbij is gerekend met de STOWA norm en de theoretische potentie voor TEO met WKO.

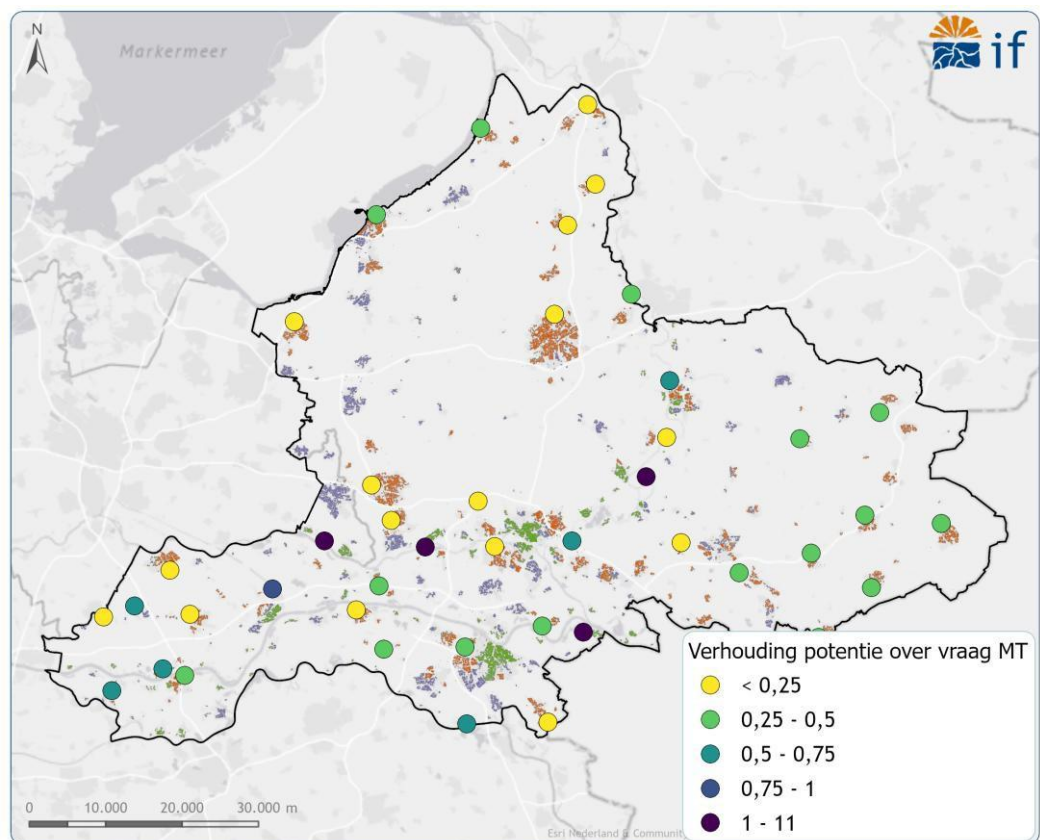
Beste energieconcept	STOWA norm		Theoretische potentie	
	Aantal clusters	Aantal weq	Aantal clusters	Aantal weq
TEO met WKO MT	717	249.000	962	323.000
TEO met WKO ZLT	2	45	2	45
TEO zonder WKO MT	392	191.000	321	181.000
TEA MT	815	410.000	644	345.000
Geen aquathermie mogelijk	14	2.000	11	2.000

4.4 MEERDERE CLUSTERS AAN ÉÉN RWZI

In de analyse in dit onderzoek is per cluster naar de beste aquathermiebronnen gezocht zonder rekening te houden met andere clusters. Het kan dus zo zijn dat bij meerdere clusters dezelfde bron als beste uit de analyse komt. De potentie van de bronnen is echter niet altijd genoeg voor alle deze clusters. Daarom hebben we ook gekeken hoe de vraag van alle clusters gezamenlijk zich verhoudt tot de potentie van de bron. Dit hebben we gedaan voor de RWZI's met een MT-warmtenet

als energieconcept. Hierbij is de vraag van alle clusters meegenomen waarbij TEA MT als beste energieconcept uit de analyse kwam voor dat cluster.

In [Figuur 4.3](#) is te zien dat de meeste RWZI's niet genoeg potentie hebben om alle clusters te koppelen. Voor sommige clusters zijn er alternatieven voor de RWZI zoals TEO, vooral bij grote rivieren. In het oosten van Gelderland zijn er echter weinig mogelijkheden voor TEO dus daar moet in haalbaarheidsstudies goed onderzocht worden hoe de potentie van de RWZI's zo optimaal mogelijk verdeeld en gebruikt kan worden.



Figuur 4.3 | Per RWZI is weergegeven hoe de vraag van alle gekoppelde clusters zich verhoudt tot de potentie. Hierbij zijn alle clusters gekoppeld die TEA MT als beste energieconcept hebben. Dit zijn de clusters weergegeven in het oranjebruin.

Bijlage 1 Energieconcepten

In het onderzoek worden verschillende energieconcepten voor een collectief aquathermiesysteem onderzocht. In deze bijlage beschrijven we die concepten en de bijbehorende uitgangspunten. Ook beschrijven we de uitgangspunten van de individuele optie met een lucht-/waterwarmtepomp.

1.1 ENERGIECONCEPT COLLECTIEF AQUATHERMIESYSTEEM

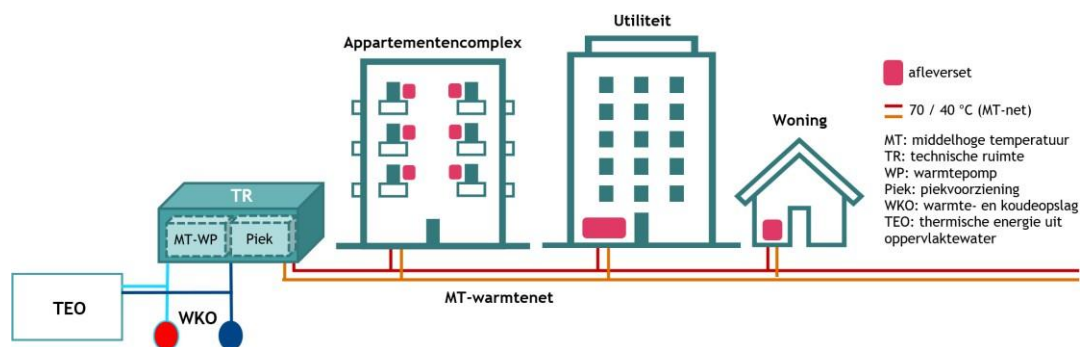
In [Figuur 4.4](#) en [Figuur 4.5](#) staan de prinscipeschema's van de energieconcepten met TEO en WKO voor respectievelijk het MT-warmtenet en ZLT-net. In beide gevallen is TEO de bron van warmte. In de zomer wordt hier warmte mee gewonnen die deels direct gebruikt wordt en deels opgeslagen wordt in WKO om in de winter te gebruiken.

MT-warmtenet

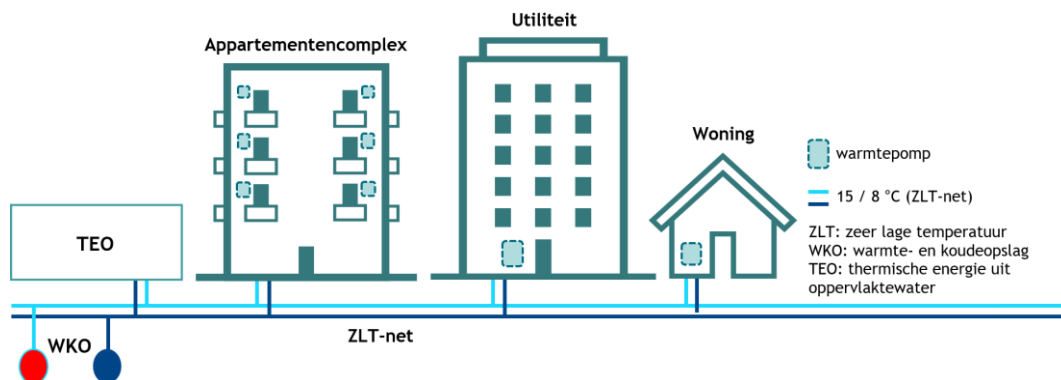
Bij het MT-warmtenet wordt de warmte uit de TEO of WKO in een centrale technische ruimte opge- waardeerd naar MT-temperatuurniveau (70 °C) met warmtepompen en voor de koude dagen wordt een gasketel ingezet als piekvoorziening. Vanaf de centrale technische ruimte wordt de warmte met een MT-warmtenet gedistribueerd naar de aangesloten gebouwen. Met een afleverset wordt de warmte afgeleverd aan de gebouwen

ZLT-net

Bij het ZLT-net wordt de warmte uit de WKO en TEO direct naar de gebouwen getransporteerd. Elk gebouw en woning heeft een eigen water-/waterwarmtepomp waarmee de warmte wordt opge- waardeerd om te gebruiken voor ruimteverwarming en tapwater. Aanname hierbij is dat er ver- warmd wordt met LT-warmte (45 - 50 °C). Hoe lager namelijk de temperatuur hoe efficiënter de warmtepomp. Met dit systeem is het ook mogelijk om koeling te leveren vanuit de WKO via het ZLT-net.



Figuur 4.4 | Prinscipeschema van het energieconcept met een MT-warmtenet en TEO met WKO.



Figuur 4.5 | Principeschema van het energieconcept met een ZLT-warmtenet en TEO met WKO.

TEO zonder WKO en TEA zonder WKO

In bovenstaande prinsipschema's staat het energieconcept met WKO en TEO weergegeven. De concepten TEO zonder WKO en TEA zonder WKO lijken hier erg op. Het enige verschil is dat er geen WKO wordt toegepast. De warmte wordt daardoor het hele jaar door geleverd vanuit TEO/TEA en niet opgeslagen in een WKO. Verder werken de concepten hetzelfde.

Uitgangspunten

In [Tabel 4.5](#) staan de gehanteerde uitgangspunten van het collectieve aquathermiesysteem vermeld.

Tabel 4.5 | Gehanteerde uitgangspunten bij een collectief aquathermiesysteem.

Uitgangspunt	Toelichting
Vollasturen warmtenet = 2.500 en vollasturen warmtepomp in woning = 1.500	Met de vollasturen kunnen de benodigde vermogens bepaald worden. Het warmtenet heeft meer vollasturen omdat er gelijktijdigheid tussen de verschillende gebouwen optreedt.
De gasketel als piekvoorziening bij het MT-net levert 50% van het vermogen en 5% van de hoeveelheid energie.	Door een piekvoorziening in te zetten kan er bespaard worden op de investeringskosten terwijl er toch veel minder aardgas wordt gebruikt. In de toekomst kunnen de gasketels vervangen worden door elektrische ketels of kan er groengas gebruikt worden. Bij een ZLT-net is het niet handig om piekvoorzieningen in te zetten aangezien dat dan in elke woning zou moeten plaatsvinden.
Distributieverlies MT-warmtenet 20% en voor het ZLT-net is het 0%	Vanwege de lage temperaturen in het ZLT-net treedt daar praktisch geen distributieverlies op.
COP/SPF van de centrale warmtepompen bij het MT-net is 3 en van de water-/waterwarmtepompen bij het ZLT-net zijn 4	Omdat de centrale warmtepompen in het MT-warmtenet hogere temperaturen moeten produceren ligt de COP/SPF lager.
COP/SPF WKO bronpompen = 40, COP/SPF TEO = 40, COP/SPF TEO = 20 en COP/SPF distributie = 55	Deze getallen worden gebruikt om het elektriciteitsverbruik te bepalen.

Isolatieniveau

Om met MT-warmte of LT-warmte te kunnen verwarmen is een bepaald isolatieniveau nodig. We hanteren als uitgangspunt dat om met MT-warmte te kunnen verwarmen minimaal energielabel D nodig is en voor LT-warmte minimaal label B. Bij de concepten met een MT-warmtenet is de aannames dat er eerst wordt geïsoleerd tot minimaal label D en bij het ZLT-net tot minimaal label B.

1.2 ENERGIECONCEPT INDIVIDUELE LUCHT-/WATERWARMTEPOMP

In dit concept krijgt elke woning/gebouw haar eigen lucht-/waterwarmtepomp. Deze wordt gebruikt voor zowel de productie van ruimteverwarming als tapwater. We gaan uit van full-electric warmtepompen aangezien het gebruik van aardgas van 2050 niet meer is toegestaan. Net zoals bij de collectieve variant met het ZLT-net en de individuele water-/waterwarmtepompen gaan we hier ook uit van verwarmen met LT-warmte.

Tabel 4.6 | Gehanteerde uitgangspunten bij een individuele lucht-/waterwarmtepomp.

Uitgangspunt	Toelichting
Vollasturen warmtepomp = 1.500	Met het aantal vollasturen kan het benodigde vermogen bepaald worden.
SPF van de warmtepomp is 3,2	Hierbij gaan we uit van verwarmen op 45-50 °C. Is een woning beter geïsoleerd en ligt er vloerverwarming dan is het mogelijk om met lagere temperaturen te verwarmen en is de SPF hoger.
Benodigd isolatieniveau is label B	Dit sluit aan bij het ZLT-net en de Startanalyse.

Bijlage 2 Uitgangspunten clustering

Voor het onderzoek zijn gebieden gezocht waar een collectief warmtenet op een aquathermiebron financieel interessant kan zijn. Dit zijn de eerder genoemde clusters. In deze bijlage is toegelicht hoe deze clusters tot stand zijn gekomen.

1. WARMTEVRAAG BEPALEN

Om tot de clusters te komen moet eerst de warmtevraag bepaald worden. Deze warmtevraag is in twee categorieën bepaald: bestaande bouw en nieuwbouw.

Bestaande bouw

Voor de bestaande bouw zijn alle verblijfsobjecten uit de BAG ingeladen. Nadat de BAG data is gekoppeld wordt op basis van openbare standaard jaar verbruik gas data (SVJ) en kentallen de warmtevraag voor elk BAG object berekend met de volgende stappen:

1. Voor elk BAG object wordt op basis van de adresgegevens gezocht in de open gasdatabases van Liander en Stedin naar een match op Postcode 6 niveau (PC6) (e.g. ABCD 11). Als er een match is dan worden gasverbruik gegevens in SVJ (gemiddeld voor alle panden in dat PC 6 gebied) gekoppeld aan het betreffende BAG object.
2. Voor woningen met een bouwjaar vanaf 2019 is het uitgangspunt dat ze geen gasaansluiting bezitten. Hier is een inschatting gemaakt aan de hand van oppervlakte en kengetallen gebaseerd op de BENG-norm.
3. Na de eerste twee stappen zijn er nog woningen zonder SVJ. Dit kunnen bijvoorbeeld panden zijn die op een warmtenet aangesloten zitten of panden met een warmtepomp of vanwege privacy redenen niet opgenomen in de open gasdatabases. Om het SVJ voor deze panden te schatten wordt er een gemiddeld SVJ/m² voor alle panden in heel Nederland berekend. Hierin is ook een verdeling gemaakt in een kengetal per verschillend woningtype. Dit kengetal is vervolgens vermenigvuldigd met het woonoppervlak van het betreffende pand.
4. Daarna is gekeken naar BAG objecten die geclassificeerd zijn als grootverbruikers (e.g. grote kantoren of ziekenhuizen). Voor deze objecten wordt het SVJ berekend op basis van kentallen per type functie en grote van het object (deze kentallen zijn SVJ per m² per jaar). De gebruikte kentallen staan beschreven in [Tabel 4.7](#). Objecten met de functie industrie zijn niet meegenomen omdat de warmtevraag en gevraagde temperatuur per object sterk kan verschillen. Objecten met een celfunctie zijn niet meegenomen omdat er geen eenduidige kentallen van zijn. Objecten met een overige gebruiksfunctie zijn niet meegenomen omdat deze zelden een warmtevraag hebben.

Tabel 4.7 | Standaard gasverbruik per functie afhankelijk van omvang functie. Getallen zijn in kuub gas per vierkante meter oppervlak bvo [m^3/m^2]

Gebruikersfunctie	0 - 250 m^2	250 - 500 m^2	500 - 1000 m^2	1.000 - 2.500 m^2	2.500 - 5.000 m^2	5.000 - 10.000 m^2	> 10.000 m^2
Bijeenkomstfunctie	17,9	14,4	11,2	9,1			
Gezondheidszorg-functie	17,8	16,6	14,9	13,5	13,1	19,6	17,3
Kantoorfunctie	19,1	16,7	14,5	12,1	10,9	10,6	11,3
Logiesfunctie	22,8	22,6	21,9	21,3	21,1	22,0	21,2
Onderwijsfunctie	16,6	18,7	16,2	13,6	10,7	8,4	8,2
Sportfunctie	17,1	16,3	13,6	10,6	7,5	5,3	
Winkelfunctie	17,9	14,6	11,3	9,0	6,8	5,8	6,4

De opgehaalde informatie over het gasverbruik moet worden vertaald naar een warmtevraag van de bestaande bouw. Het bepalen van de warmtevraag is bepaald aan de rekensystematiek welke door het ACM wordt gehanteerd en zoals is vastgelegd in het warmtebesluit. De uitgangspunten zijn als volgt:

- Ruimteverwarming is 79% van de gemiddelde totale warmtevraag.
- Warmtapwater is 21% van de gemiddelde totale warmtevraag.
- Het gemiddelde opwekkrendement voor ruimteverwarming is 94%.
- Het gemiddelde opwekkrendement voor warmtapwater is 68%.

Op basis van de door het warmtebesluit vastgestelde gemiddelde waarden van warmteproductie door middel van gasketels kan gesteld worden dat een gemiddelde gasketel een gemiddeld rendement heeft van 87% op de bovenwaarde van gas. De bovenwaarde van gas is $35,17 \text{ MJ}/\text{m}^3$.

Isolatiemaatregelen

Naast het bepalen van de huidige warmtevraag is ook gekeken naar de effecten van isolatie op de woning doorgerekend. Dit is gedaan door isolatie maatregelen te treffen en het label van de woningen naar een label D of B te verhogen.

Deze effecten hebben alleen effect op de warmtevraag voor ruimteverwarming en niet de tapwater-vraag. De warmtevraag voor ruimteverwarming in de bestaande bouw is ongeveer 80% van de totale warmtevraag. Bij het bepalen van de warmtevraag met isolatiemaatregelen zijn de effecten dus alleen toegepast op het deel van de warmtevraag wat gebruikt wordt voor ruimteverwarming.

Betere isolatie zorgt ervoor dat minder warmte verloren gaat en daardoor neemt de warmtevraag af. De hoeveelheid afname van de warmtevraag hebben we gebaseerd op de verwachte sprong in energielabels. Het gebruik maken van energielabels is geen perfecte methode vanwege de volgende redenen:

- De methode voor het vaststellen van een energielabel van een woning is de afgelopen jaren een paar keer gewijzigd. De beschikbare energielabels zijn daarom niet allemaal met dezelfde methode vastgesteld.
- Behalve het niveau van isolatie wordt een energielabel ook beïnvloedt door duurzame energie opwek zoals bijvoorbeeld zonnepanelen.

Ondanks dat de methode niet perfect is geeft het wel een indicatie voor de afname in warmtevraag. Dezelfde methode is ook toegepast in de Startanalyse van het PBL⁵.

We hebben de verwachte afname in warmtevraag bepaald voor twee scenario's:

- 1 Woningen worden verwarmd met lage temperatuur warmte (ca. 45-50 °C).
- 2 Woningen worden verwarmd met midden temperatuur warmte (ca. 70 °C).

Woningen moeten beter geïsoleerd zijn om met een lage temperatuur verwarmd te kunnen worden ten opzichte van midden temperatuur. Deze betere isolatie zorgt voor een lagere warmtevraag. Voor de verwarming op lage temperatuur wordt minimaal energielabel B nodig geacht en voor verwarming op midden temperatuur energielabel D. De woningen die op dit moment nog een te laag energielabel hebben zullen voor aanvang van het project verduurzaamd moeten worden. Het gaat daarbij vooral om maatregelen die effect hebben op de schil van de woning, zoals: gevel-, vloer-, spouwmuur- en dakisolatie, of vervanging van ramen. Deze maatregelen zorgen er namelijk voor dat het label verandert en de temperatuur voor ruimteverwarming omlaag kan bij een gelijkblijvend comfort. [Tabel 4.8](#) laat de energiebesparing van de woningen zien door de sprong te maken naar energielabel B of D⁵.

Tabel 4.8 | Energiebesparing door woning verder te verduurzamen en daarmee een beter energielabel te verkrijgen.

Huidige energielabel	Beoogd energielabel	Energiebesparing
Verwarmen met midden temperatuur warmte		
G	D	11%
F	D	11%
E	D	8%
Onbekend	D	16%
Verwarmen met lage temperatuur warmte		
G	B	25%
F	B	27%
E	B	25%
D	B	19%
C	B	12%
Onbekend	B	26%

Voor utiliteit hebben we geen afname in warmtevraag als gevolg van isolatiemaatregelen bepaald. Het is namelijk lastig te voorspellen hoeveel de afname voor de verschillende utiliteitsfuncties zal zijn.

Naast besparing van in energie heeft de startanalyse van PBL ook de isolatiekosten voor een stap ingeschat. De kosten van de labelstappen zijn opgenomen in [Tabel 4.9](#). Deze kosten zijn per object berekend.

Tabel 4.9 | Isolatiekosten labelstap

Woningtype- ring	A	B	C	D	E	F	G
twee-onder- een-kap	€ -	€ -	€ 8.523,60	€ 18.465,60	€ 25.731,60	€ 25.066,80	€ 25.066,80
appartement	€ -	€ -	€ 5.275,20	€ 8.720,40	€ 9.884,40	€ 13.129,20	€ 17.300,40

⁵ PLB, Bepaling energiebesparing door isolatie van woningen in de startanalyse 2020, 12 november 2022.

hoekwoning	€ -	€ -	€ 7.089,60	€ 17.820,00	€ 18.087,60	€ 17.386,80	€ 17.386,80
tussenwo- ning/gescha- keld	€ -	€ -	€ 6.360,00	€ 12.196,80	€ 11.956,80	€ 15.456,00	€ 15.105,60
vrijstaande wo- ning	€ -	€ -	€ 13.610,40	€ 20.011,20	€ 26.412,00	€ 31.444,80	€ 41.892,00

Nieuwbouw

Voor nieuwbouw is data aangeleverd door de provincie vanuit het Planregistratie wonen. Hierin staan voor heel de provincie vlakken met daarin de openbare harde en zachte plannen. In deze dataset wordt aangegeven de hoeveelheid appartementen, grondgebonden woningen en onbekende woningen in het vlak gerealiseerd gaan worden. De woningtypes zijn omgerekend naar oppervlaktes. Hier is uitgegaan van 70 m² per appartement en onbekend en 123 m² per grondgebonden woningen. Met behulp van het oppervlak en kengetallen op basis van BENG is een vertaling gemaakt naar warmtevraag.

2. KOUEVRAAG BEPALEN

Naast warmtevraag is ook gekeken naar de koudevraag van de woningen. Hier is voor de bestaande bouw het kengetal vanuit de Startanalyse gehanteerd (0,02 GJ/m²). Dit kengetal is vermenigvuldigd met de oppervlakte per object. Voor nieuwbouw is de oppervlakte vermenigvuldigd met een kengetal per m² gebaseerd op BENG.

3. WARMTEVRAAG PER GRIDCEL

Na het bepalen van de warmte- en koudevraag per object en nieuwbouwwvlak wordt de data gekoppeld aan gridcellen van 50 bij 50 meter. De objecten worden met een spatial join aan de cellen gekoppeld en gesommeerd. Hierbij wordt de huidige warmtevraag, warmtevraag bij label B, warmtevraag bij label D, koudevraag en isolatiekosten aan een cel gekoppeld. Voor nieuwbouw worden de vlakken opgedeeld over de gridcellen. Hierbij wordt de totale warmte- en koude vraag aan de hand van oppervlakte over de cellen verdeeld. De huidige warmte- en koudevraag wordt opgeteld bij de warmte- en koudevraag van de nieuwbouw. Hiermee wordt de warmte- en koudevraag per cel bepaald.

Met de warmtevraag per cel wordt de warmtevraag dichtheid per hectare bepaald. Cellen met een lagere warmtevraagdichtheid dan 600 GJ/ha/jaar vallen af.

4. CLUSTERING VAN DE WARMTEVRAAG

Omdat er voor de business case van aquathermie een collectief systeem nodig is er besloten om de warmtevraag gridcellen te clusteren. Hiervoor zijn de overgebleven gridcellen samengesmolten tot aaneengesloten clusters. Hier is weer een sommering gemaakt van de warmte- en koudevraag, warmtevraag bij label B, warmtevraag bij label D en isolatiekosten. In deze analyse is de ondergrens van een cluster 2.000 GJ/jaar. Alle clusters onder deze grens zijn buiten de analyse gehouden.

5. AANTAL WEQ EN AANDEEL APPARTEMENTEN

Per cluster hebben we het aantal weq en aandeel appartementen bepaald. Eén woning rekenen we als één weq en de utiliteit hebben we omgerekend met 130 m² = 1 weq. Het aandeel

appartementen is een resultaat van het aantal appartementen (bestaande bouw en nieuwbouw) dat in het cluster ligt of gepland is.

Bijlage 3 Rekenregels TEO met WKO

In dit onderzoek zijn berekeningen gemaakt met een gevalideerd model om de maximale en meest optimale potentie te berekenen. Om de potentie van oppervlaktewateren te berekenen zijn twee kengetallen berekend, die kan worden toegepast op alle oppervlaktewateren:

- kengetal stromende oppervlaktewater (bijlage 3.1) = 5,5 GJ/m³/h/jaar. Dit kengetal beschrijft het aquathermie potentieel per eenheid van debiet van het stromende oppervlaktewater (GJ/m³/h/jaar).
- kengetal stilstaand oppervlaktewater (bijlage 0) = 0,01 GJ/m²/jaar. Dit kengetal beschrijft het aquathermie potentieel per eenheid van oppervlakte van het water (GJ/m²/jaar).

De kengetallen zijn op basis van een aantal stappen tot stand gekomen. Deze stappen zijn hieronder toegelicht. De kengetallen die hieruit voortkomen zijn voor het doel van deze studie toepasbaar op elk oppervlaktewater.

1. AQUATHERMIE STROMENDE OPPERVLAKEWATEREN

1. Uitgangspunten en basisberekening

In Tabel 4.10 zijn de uitgangspunten voor de potentieberekening bij stromende waterlichamen weergegeven.

Tabel 4.10 | Uitgangspunten berekeningen.

Variabele	Eenheid	Waarde	Toelichting
$C_{p,water}$	J/kg/K	4180	Soortelijke warmtecapaciteit van water.
ρ_{water}	kg/m ³	1000	Dichtheid van water.
Seconden per uur	s	3600	Aantal seconden in een uur.
ΔT	K	5,3	Temperatuurverschil over het TEO-systeem gemiddeld over een jaar.
Q	m ³ /h	1	Fictieve maatgevende lage afvoer (MLA) van een Rivier.
Vollasturen	h/jaar	2500	Het aantal uur per jaar dat het systeem (maximaal) aan staat.

Op basis van deze uitgangspunten kan bepaald worden wat het maximale thermische vermogen is dat uit een rivier met een fictieve maatgevende lage afvoer van 1 m³/h kan worden gehaald:

$$P = Q \cdot \frac{\rho_{water} \cdot C_{p,water}}{3600} \cdot \Delta T = 1 \cdot \frac{4180 \cdot 1000}{3600} \cdot 5,3 = 6,155 \text{ kW}$$

Door dit te vermenigvuldigen met 2500 vollasturen en om te rekenen naar GJ komt er uit dat ongeveer 55 GJ/m³/h/jaar uit het water kan worden gehaald met een TEO-systeem dat de MLA onttrekt en een ΔT van 5,3K.

2. Beperking door STOWA richtlijn

Door de meeste waterschappen wordt gebruik gemaakt van de “handreiking voor beoordeling van ecologische effecten van TEO-systemen” die is opgesteld door de STOWA in 2023 (publicatie 2023/40). In deze handreiking staat, als voorwaarde voor een standaardbeoordeling bij een vergunningaanvraag in een stromend waterlichaam, dat het debiet van een TEO-systeem niet hoger mag zijn dan 10% van de maatgevende lage afvoer. “Dit criterium heeft te maken met de filterende werking van de TEO-installatie. Door inzuiging wordt een deel van de macrofauna en fytoplankton gedood. Als het maandelijkse debiet van de TEO-installatie minder is dan 10% van de maatgevend lage afvoer, zijn de effecten van filtering verwaarloosbaar klein.”

Wanneer dit wordt toegepast betekent dit dat er maximaal $5,5 \text{ GJ/m}^3/\text{h}/\text{jaar}$ onttrokken kan worden.

3. Theoretische thermische potentie

Wanneer niet naar eventuele filtering van een TEO-systeem wordt gekeken, maar puur naar de thermische potentie van een oppervlaktewater dan is de potentie hoger. Zeker in snel stromende wateren met veel turbulentie wordt het water goed gemixt na de lozing van koude. Dit betekent dat wanneer 10% van het water wordt afgekoeld met $5,3^\circ\text{C}$, de volledige watermassa met ongeveer $0,53^\circ\text{C}$ wordt afgekoeld. Bij een onttrekking van 25% (i.p.v. 10%) van de lage maatgevende afvoer komt de gemiddelde temperatuurverlaging uit op $1,3^\circ\text{C}$. Dat is nog steeds een acceptabele afkoeling zonder dat dit grote effecten heeft op benedenstroomse TEO-systemen.

De theoretische thermische potentie komt daarmee uit op $14 \text{ GJ/m}^3/\text{h}/\text{jaar}$.

4. Verdeling van warmte uit oppervlaktewater

Belangrijk uitgangspunt is dat de warmte uit het oppervlaktewater voor iedereen gelijkwaardig te benutten moet zijn. Om de warmte (eerlijk) te verdelen moet daarom gekeken worden naar de totale potentie van het oppervlaktewater en alle kernen die potentieel gekoppeld kunnen worden aan de watergang. Wanneer de totale warmtevraag de potentie van de watergang overstijgt is het aan de provincie, RES regio of gemeente om te bepalen welke projecten voorrang krijgen.

2. AQUATHERMIE STILSTAANDE OPPERVLAKTEWATEREN

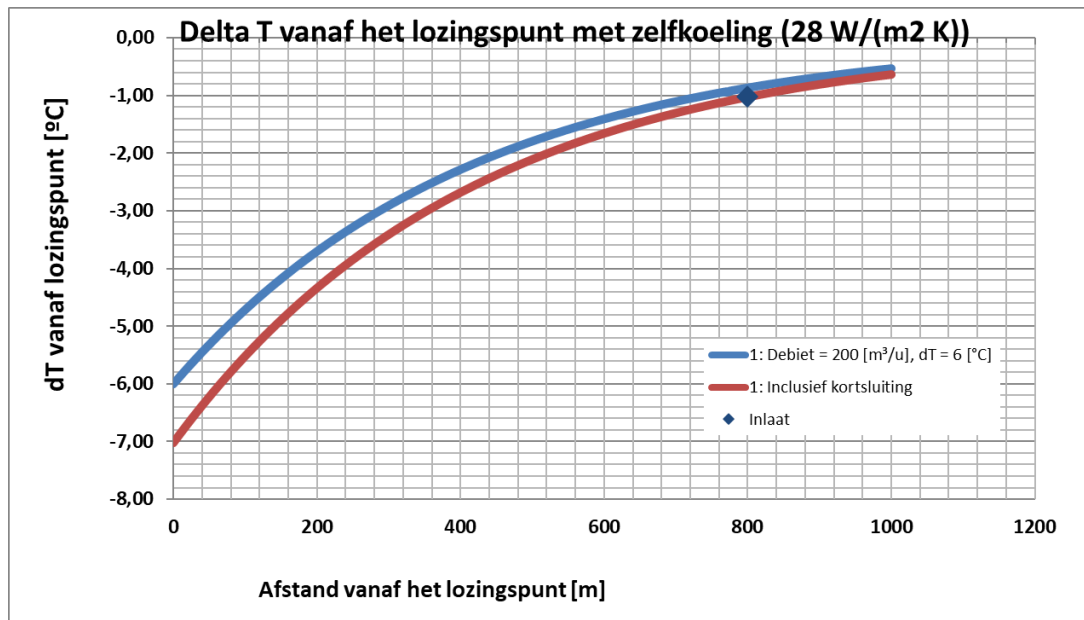
1. Uitgangspunten en basisberekening

In [Tabel 4.11](#) zijn de uitgangspunten voor de potentieberekening bij stilstaande waterlichamen weergegeven.

Tabel 4.11 | Uitgangspunten aquathermiesysteem stilstaande oppervlaktewateren, voorbeeldberekening.

Variabele	Eenheid	Waarde	Toelichting
Constante variabelen			
$C_{p,water}$	J/kg/K	4180	Soortelijke warmtecapaciteit van water.
ρ_{water}	kg/m ³	1000	Dichtheid van water.
Seconden per uur	s	3600	Aantal seconden in een uur.
f	-	0,65	Correctiefactor f, gebaseerd op de verhouding tussen breedte b en lengte l van een waterlichaam en de locatie van het lozingspunt ten opzichte van het innamepunt. De waarde is een gemiddelde van een rechthoekig waterlichaam met b/l verhouding van 2 met verschillende in-/uitlaat posities (zie Tabel 4.12).
Z	W/m ² /K	28	Zelfkoelingsgetal: dit is de gemiddelde waarde voor de uitwisseling van warmte tussen oppervlaktewater en de omgeving (zoningstraling, convectie door wind, etc.).
Uitgangspunten voorbeeldberekening			
ΔT	K	6	Temperatuurverschil over het TEO-systeem gemiddeld over een jaar.
Q	m ³ /h	200	Fictief TEO-debiet.
L	m	800	Lengte van het oppervlaktewater. In dit geval ook de afstand tussen in- en uitlaat. Dit is de berekende waarde waarop thermische kortsluiting 1 °C is.
B	m	20	Breedte van het oppervlaktewater.
H	m	2	Diepte van het oppervlaktewater.
Vollasturen	h/jaar	2500	Het aantal uur per jaar dat het systeem (maximaal) aan staat.

In [Figuur 4.6](#) is het TEO-systeem gemodelleerd op basis van bovenstaande parameters (blauwe lijn). De mate van opwarming van het oppervlaktewater wordt bepaald door het “zelfkoelingsgetal” (Z). Na verloop van tijd ontstaat een evenwichtssituatie (rode lijn in [Figuur 4.6](#)). Op 800 meter vanaf het lozingspunt bevindt zich het innamepunt. Op dat punt is het water nog 1 °C afgekoeld ten opzichte van de natuurlijke watertemperatuur (thermische kortsluiting). In de evenwichtssituatie heeft het ingenomen water dus een temperatuurverschil van 7 °C met de natuurlijke watertemperatuur.



Figuur 4.6 | Voorbeeldberekening voor een TEO-systeem van 200 m³/h met een temperatuurverschil van 6K in een watergang van 20 meter breed en afstand tussen in- en uitlaat van 800 meter. De blauwe lijn geeft de initiële afkoeling door het systeem weer. De rode lijn geeft de evenwichtssituatie weer. De ruit geeft de afkoeling bij de inlaat weer ten opzichte van de achtergrondtemperatuur (zonder TEO-systeem).

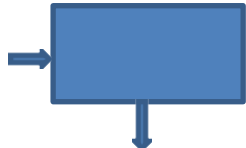
Het thermische vermogen dat door het TEO-systeem in dit voorbeeld wordt geleverd is:

$$P = Q \cdot \frac{\rho_{water} \cdot c_{p,water}}{3600} \cdot \Delta T = 200 \cdot \frac{4180 \cdot 1000}{3600} \cdot 6 = 1.390 \text{ kW}$$

Door dit te vermenigvuldigen met 2500 vollasturen en om te rekenen naar GJ komt er uit dat ongeveer 12.530 GJ/jaar uit het water kan worden gehaald met dit TEO-systeem.

Vervolgens delen we de energiehoeveelheid door het oppervlak van het gebruikte waterlichaam. Dit resulteert in 0,78 GJ/m²/jaar. Met de gemiddelde vormfactor uit Tabel 4.12 geeft dit een gemiddelde energiehoeveelheid per vierkante meter per jaar van: 0,5 GJ/m²/jaar.

Tabel 4.12 | Bepaling gemiddelde vormfactor (f) van stilstaande oppervlaktewateren.

b/l	f	situatieschets
2	0,8	
2	0,5	
Gemiddelde	0,65	

2. Beperking door STOWA richtlijn

In bovenstaande berekening, in paragraaf [3.2.1](#), is nog geen rekening gehouden met de STOWA regels die gelden ten aanzien van filtering door een TEO-systeem. De voornaamste rekenregel hierbij is dat maandelijks 10% van het volume van het oppervlaktewater door het TEO-systeem mag stromen. In het rekenvoorbeeld zou dat een maandelijks volume betekenen van $(800 \cdot 20 \cdot 2 \cdot 10\%) = 3.200 \text{ m}^3/\text{maand}$. Uitgaande van 31 dagen per maand betekent dit een debiet van maximaal: $(3200/31/24 =) 4,3 \text{ m}^3/\text{h}$. Dit is een significant lager debiet dan de eerder aangenomen $200 \text{ m}^3/\text{h}$ die de theoretische thermische potentie beschrijft. Op basis van het verlaagde debiet is de potentie van het stilstaande oppervlaktewater: $0,01 \text{ GJ/m}^2/\text{jaar}$.

3. Verdeling van warmte uit oppervlaktewater

Belangrijk uitgangspunt is dat de warmte uit het oppervlaktewater voor iedereen gelijkwaardig te benutten moet zijn. Om de warmte (eerlijk) te verdelen moet daarom gekeken worden naar de totale potentie van het oppervlaktewater en alle kernen die potentieel gekoppeld kunnen worden aan de watergang. Wanneer de totale warmtevraag de potentie van de watergang overstijgt is het aan de provincie, RES regio of gemeente om te bepalen welke projecten voorrang krijgen.

Bijlage 4 WKO-potentieel

Voor het bepalen van het potentieel voor open bodemenergiesystemen is een tool ontwikkeld door IF Technology. Hieronder is een toelichting op de bepaling van het potentieel opgenomen. Onderdeel hiervan zijn juridische en beleidsmatige beperkingen voor WKO. Daarna bespreken hoe we dit potentieel hebben vertaald naar een kostprijs voor WKO.

1. BEPALING PPOTENTIEEL

1. Ondergrondmodel NHI-LHM 4.1

Het Nederlands Hydrologisch Instrumentarium (NHI) is de verzameling van software en data voor het ontwikkelen van grondwater- en oppervlaktewatermodellen voor Nederland op landelijke en regionale schaal. Het NHI is bedoeld om de kennis van specialisten bij waterbeheerders, instituten en adviesbureaus te bundelen om te komen tot kwalitatief goede instrumenten en data.

Het Landelijk Hydrologisch Model (LHM) is het geïntegreerd landsdekkende grond- en oppervlaktewater model van Nederland. Het model wordt ontwikkeld door Deltares en WENR in opdracht van Rijkswaterstaat WVL. Een uitgebreidere toelichting van het model is te vinden via:

<http://nhi.nu/nl/index.php/modellen/lhm/nhi-lhm/v41/>

In het LHM is de bodem geschematiseerd in 8 doorlatende modellagen. De ruimte tussen de doorlatende modellagen betreffen de scheidende lagen. De ondergrens van de 8^e modellaag is gelijk aan de geohydrologische basis. Vanwege deze schematisatie is ervoor gekozen dit model te gebruiken voor de tool.

2. Beleidsmatige restrictiegebieden

Behalve het ondergrondmodel zijn ook beleidsmatige restricties van invloed op welk bodemzijdig potentieel beschikbaar is. Hiervoor is gebruik gemaakt van de landelijk beschikbare gegevens uit de WKO-bodemenergietool (<https://wkotool.nl/>) en specifieke provinciale gegevens⁶:

- Verbodsgebieden Bescherming voor drinkwater
- Restrictie Dieptebeperking

Verbodsgebieden Bescherming voor drinkwater

In een verbodsgebied is de toepassing van een open bodemenergiesysteem niet toegestaan.

Restrictie Dieptebeperking

Dit zijn gebieden waar voor de toepassing van bodemenergie een dieptebeperking van toepassing is. Per gebied geldt dat het maatwerk is om de potentie te bepalen. Daarom hebben we in deze gebieden de potentie van WKO als ongeschikt geclassificeerd en wordt in de kaarten aangegeven dat dit per project uitgezocht moet worden.

⁶ <https://geoportaal.gelderland.nl/portaal/apps/instant/media/index.html?appid=5e45a721f9434dbaa04f9da5674fe5c2>

4.1.3 Berekeningswijze bodempotentieel open bodemenergiesystemen

Er zijn een aantal aspecten die van invloed zijn op het beschikbare bodempotentieel. In de eerste plaats de dikte van de aanwezige zandlagen. In de tool worden alle aanwezige (waterverzadigde) zandlagen tot een diepte van maximaal 300 m-mv bij elkaar opgeteld. Dit kunnen dus meerdere watervoerende pakketten betreffen. Om te bepalen of een zandlaag waterverzadigd is, is gebruik gemaakt van de gemiddelde voorjaars grondwaterstand uit het LHM-model (LHM 4.1 GVG 2011-2018).

In de tool is daarnaast ervan uitgegaan dat in de praktijk niet de totale dikte van de zandlagen gebruikt wordt voor het plaatsen van bronfilters. Daarom is ervan uitgegaan dat 80% van de totale dikte beschikbaar is. Bij een open bodemenergiesysteem wordt zowel koude als warmte opgeslagen. Daarom is in de berekening uitgegaan dat de helft van de beschikbare bodem voor de koudeopslag en de andere helft voor warmteopslag benut wordt. Verder is als uitgangspunt aangenomen dat 70% van de oppervlakte benut kan worden voor het opslaan van warmte en koude. De thermische bellen zullen namelijk nooit exact op elkaar aansluiten.

Een ander belangrijk uitgangspunt is het verwachte temperatuurverschil tussen de onttrekking en infiltratie (delta T). Op basis van verschillende onderzoeken naar het functioneren van open bodemenergiesystemen lijkt een delta T van 5°C het meest reëel. Daarom is in de tool uitgegaan van een delta T van 5°C.

De potentieelkaarten geven het potentieel aan dat geleverd kan worden aan het gebouw. Voor warmtelevering wordt doorgaans gebruik gemaakt van een warmtepomp. Voor het potentieel aan warmte is uitgegaan van een COP van de warmtepomp van 4. Voor koudelevering is uitgegaan van directe koudelevering (zonder tussenkomst van een warmtepomp).

Het potentieel is berekend met de volgende formules:

$$W_{\text{warmte}} = r * c_w * Q * dT * f * \text{COP}_{\text{wp}} / (\text{COP}_{\text{wp}} - 1) * cf$$

$$W_{\text{koude}} = r * c_w * Q * dT * f * cf$$

W = potentieel (J/ha)

r = dichtheid water (kg/m³)

c_w = warmtecapaciteit water (J/(kg.°C))

Q = beschikbaar bodemvolume per hectare (m³)

dT = temperatuurverschil tussen onttrekking en infiltratie (°C)

f = porositeit (%)

COP_{wp} = coefficient of performance warmtepomp (-)

cf = correctiefactor voor beschikbare dikte zandlagen, volume warmte- dan wel koudeopslag en benutbare oppervlakte (-)

2. VERTALEN VAN POTENTIEEL NAAR KOSTPRIJS

Nadat potentie van de bodem voor WKO is bepaald (GJ/ha/jaar) is de geschiktheid bepaald aan de hand van de volgende criteria:

- Grondwaterbeschermingszone/drinkwaterwinning = niet mogelijk
- < 120 GJ/ha = slecht of ongeschikt (<10 m³/uur)
- 120 - 900 GJ/ha = geschikt (10 - 50 m³/uur)
- 900 - 1.700 GJ/ha = goed geschikt (50 - 100 m³/uur)

- $> 1.700 \text{ GJ/ha} = \text{uitstekend geschikt} (>100 \text{ m}^3/\text{uur})$

Daarnaast hebben we het potentieel vertaald naar een verwacht haalbaar debiet. Verder hebben we aangenomen dat een WKO-doublet tot 120 m-mv wordt geboord. Op basis van het debiet en de diepte hebben we een kostenraming gemaakt van een WKO-doublet en dit vertaalt naar een kostprijs in €/m³/uur.

NB: dit gaat om grove schattingen van het bodempotentieel. Voor lokale haalbaarheidsstudies moet de bodem opnieuw onderzocht ligt, zodat lokale risico's en belangen inzichtelijk worden. Ervaring leert dat dit kan afwijken van het bodempotentieel dat hier is bepaald.

Bijlage 5 TCO berekening

De Total Cost of Ownership (TCO) bestaat uit alle kosten die gemaakt worden gedurende 30 jaar voor de levering van warmte en mogelijk koude. Het gaat hierbij om alle kosten van het aquathermiesysteem tot en met de isolatiekosten van de woning. In dit onderzoek nemen we de investeringskosten en operationele kosten van de verschillende opties mee in de TCO berekening. We houden geen rekening met subsidies, financieringslasten en het rendement van warmtebedrijven.

5.1 MEEGENOMEN KOSTEN

In [Tabel 4.13](#) staan de verschillende onderdelen die meegenomen worden in de TCO berekening voor het collectieve aquathermiesysteem en de individuele warmtepomp. Sommige kosten bij het collectieve systeem gelden niet voor alle energieconcepten zoals de WKO die niet geldt voor de concepten zonder WKO.

Voor alle kosten hebben we op basis van gegevens van het specifieke cluster en de aquathermiebron een raming gemaakt. De kosten van het warmtenet hangen bijvoorbeeld af van de warmtevraagdichtheid.

Tabel 4.13 | Investeringskosten en operationele kosten die worden meegenomen in de verschillende opties.

Collectief aquathermiesysteem	Individuele lucht-/waterwarmtepomp
Investeringskosten en herinvesteringskosten	
MT-warmtenet of ZLT-net	Lucht-/waterwarmtepomp
WKO + leidingwerk	LT-afgiftesysteem
Aquathermie + leidingwerk	Ventilatiesysteem
Energiecentrale	Isolatiekosten
Afleverzet voor het MT-warmtenet	
Bouwkundige kosten technische ruimte	
Distributie appartementen in gebouw	
Kosten gasaansluiting en elektriciteitsaansluiting	
Ontwerp & advies collectief systeem	
Onvoorzien collectief systeem	
Isolatiekosten	
Aanpassingen in woning om aan te sluiten op een warmtenet	
Operationele kosten	
Onderhoudskosten	Onderhoudskosten warmtepomp
Elektriciteitskosten	Elektriciteitskosten
Gaskosten	
Managementkosten collectief systeem	

5.2 UITGANGSPUNTEN

In de TCO berekening hebben we de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- In de concepten met het MT-warmtenet worden geen kosten gerekend voor koeling in zowel het collectieve concept als het individuele concept. Bij het ZLT-net wordt voor zowel het collectieve concept als het individuele concept wel de kosten voor koeling meegenomen. Er worden geen kosten gerekend voor een afgiftesysteem dat nodig is voor koeling met water zoals vloerverwarming of lage temperatuur convectoren.

- Aansluitpercentage = 85%. Dit is ambitieus om te halen maar wel alsnog realistisch.
- Inflatie = 2% voor alle kosten zoals bijvoorbeeld elektriciteitskosten
- Elektriciteitstarief warmtebedrijf = 0,13 €/kWh excl. btw in het eerste jaar. Dit tarief geldt voor de kosten van de centrale warmtepompen, WKO bronpompen, distributiepompen en het aquathermiesysteem.
- Elektriciteitstarief kleinverbruikers = 0,21 €/kWh excl. btw in het eerste jaar. Dit tarief geldt voor de water-/waterwarmtepompen bij het ZLT-net en de individuele lucht-/waterwarmtepompen.
- Gastarief = 0,98 €/m³ excl. btw.

Bijlage 6 Geschiktheidsniveaus

6.1 BEPALING GESCHIKTHEIDSNIVEAUS

De geschiktheidsniveaus van aquathermie voor de verschillende clusters en concepten wordt bepaald op basis van het vergelijk van de TCO. We kijken naar de factor $K_{\text{coll}/\text{ind}}$ = Kosten (TCO) collectief / Kosten (TCO) individueel. Hoe lager die factor is hoe goedkoper de collectieve optie ten opzichte van de individuele optie. We hanteren de volgende geschiktheidsniveaus op basis van $K_{\text{coll}/\text{ind}}$:

- Uitstekend potentieel: $K_{\text{coll}/\text{ind}} < 1$
- Goed potentieel: $1 < K_{\text{coll}/\text{ind}} < 1,2$
- Ontwikkelbaar potentieel: $1,2 < K_{\text{coll}/\text{ind}} < 1,4$
- Onderzoekwaardig potentieel: $1,4 < K_{\text{coll}/\text{ind}} < 1,6$
- Beperkt potentieel: $1,6 < K_{\text{coll}/\text{ind}} < 1,8$
- Geen potentieel: $K_{\text{coll}/\text{ind}} > 1,8$

In de TCO berekening is nog geen rekening subsidies, externe invloeden, maatschappelijke kosten, financieringslasten en het rendement van warmtebedrijven. Deze is nog onzeker en projectspecifiek. Dit betekent niet dat het geen invloed kan hebben op het resultaat. Daarom hebben we in de categorisering daar wel rekening mee gehouden. Hieronder lichten we toe hoe dat is gedaan.

Bij het labelen van de geschiktheidsniveaus hebben we indicatief ook rekening gehouden met de volgende effecten:

- Individueel: effect ISDE isolatie en warmtepomp, netverzwaring.
- Collectief: WIS, SDE++, ISDE isolatie.

We hebben hiervoor naar een gemiddeld project gekeken en als we bovenstaande aspecten meenemen in de TCO vergelijking dan daalt $K_{\text{coll}/\text{ind}}$ met ongeveer 0,2. Dit betekent dat het meenemen van subsidies en rekening houden met de kosten van netverzwaring positief is voor de collectieve oplossing. Daarom classificeren we een $1 < K_{\text{coll}/\text{ind}} < 1,2$ als goed potentieel.

Verder geldt voor de TCO berekening een onzekerheidsmarge van zo'n 30-50%. We vertalen dit is een factor van ca. 0.4. Daarom zijn ook $K_{\text{coll}/\text{ind}}$ tot 1,6 nog onderzoekswaardig.

Hieronder zijn de geschiktheidsniveaus van een definitie voorzien om ze goed van elkaar te kunnen onderscheiden.

Uitstekend potentieel	Een collectief systeem met aquathermie is zonder subsidies en niet rekening houdend met maatschappelijke kosten (netverzwaring) goedkoper dan individuele lucht-/waterwarmtepomp.
Goed potentieel	Een collectief systeem met aquathermie is met subsidies en rekening houdend met maatschappelijke kosten (netverzwaring) goedkoper dan individuele lucht-/waterwarmtepomp.

Ontwikkelaar potentieel	Een collectief systeem met aquathermie is met subsidies en rekening houdend met maatschappelijke kosten (netverzwaring) vergelijkbaar met individuele lucht-/waterwarmtepomp.
Onderzoekwaardig potentieel	Een collectief systeem met aquathermie is met subsidies en rekening houdend met maatschappelijke kosten (netverzwaring) iets duurder dan individuele lucht-/waterwarmtepomp.
Beperkt potentieel	Een collectief systeem met aquathermie is met subsidies en rekening houdend met maatschappelijke kosten (netverzwaring) veel duurder dan individuele lucht-/waterwarmtepomp.
Geen potentieel	Een collectief systeem met aquathermie is geen optie.

IF Technology **Creating energy**



Velperweg 37
6824 BE Arnhem
Postbus 605
6800 AP Arnhem

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

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

IF Technology **Creating energy**