

Hoe past aquathermie in het warmtesysteem van 2050?

Aquathermie in het perspectief van twee toekomststudies

Door Cees de Wit

Inhoudsopgave

- Hoofdpunten Slide 3
- Aanleiding Slide 5
- Werking aquathermie Slide 7
- Aquathermie in toekomststudies Slide 14
 - Head roadmap Europe Slide 16
 - Klimaatneutrale scenario's II3050 Slide 20
- Bijlagen
 - Warmtepompen en smart energy systems Slide 33
 - De warmtemarkt Slide 37
 - Verdieping werking aquathermie Slide 40

Hoofdboodschap (1 van 2)

Aquathermie kun je (meestal) beschouwen als een toepassing van een grootschalige warmtepomp (met WKO).

- Realiseer dat dit systeem (warmtepomp + warmtenet) voor elke laag temperatuur warmtebron (lucht, bodem, LT-restwarmte) werkt.
- Dit betekent dat onderzoeken en inzichten over grootschalige warmtepompen en warmtenetten voor aquathermie kunnen worden gebruikt. Maar ook dat lessen uit aquathermie in een breder context kunnen worden gezien.
- Door het gebruik van een warmtepomp gaat aquathermie gepaard met een grote elektriciteitsvraag.
- Aquathermie kan ook worden beschouwd als warmtebron voor de regeneratie van een WKO.
- Aquathermie kan ook gebruikt worden om gebouwen te koelen.

(Internationaal) onderzoek naar warmtepompen gaat ook over aquathermie.

- (Internationale) Literatuur onderzoek aquathermie is schaars, maar dat voor grootschalige warmtepompen met warmtenetten is talrijk.
 - Bijvoorbeeld onderzoek naar regulering in de warmtemarkt, door SEO en Ecorys, kan ook veel inzicht geven over governance rond aquathermie. Rapport: [Regulerend warmtemarkt](#).
- Internationaal wordt aquathermie weinig als term los genoemd. Maar wat wij aquathermie noemen, komt wel terug in de toepassing van grootschalige warmtepompen.
- Het riool en oppervlakte water worden zelfs gezien als gunstige bronnen voor een grootschalige warmtepomp.

Aquathermie in Intergrale Infrastructuurverkenning 2030-2050 (II3050) en the Heat Roadmap Europe (HRE)

Grootschalige warmtepompen in combinatie met warmtenetten (en aquathermie) komen niet voor in II3050, maar zijn wel een speerpunt van het HRE.

- Aquathermie komt niet voor in de klimaatneutrale scenario's naar aanleiding van de integrale Infrastructuur verkenning 2030-2050.
- De toepassing van grootschalige (centrale) warmtepompen in combinatie met een warmtenet zit er überhaupt niet in. In de Heat Roadmap Europe studies is deze toepassing van grootschalige warmtepompen echter wel een speerpunt.
- Volgens HRE kunnen (collectieve) warmtepompen een schakel zijn tussen elektriciteit en warmte, waardoor bijvoorbeeld net flexibiliteit kan worden gecreëerd.



Link Heatroadmap Europe <https://heatroadmap.eu/project/>

Link II3050: [*Klimaatneutrale energiescenario's 2050, Berenschot & Kalavasta, 2020*](#)

Aanleiding

Dit document is geschreven als onderdeel van een gezamenlijke traineep opdracht tussen Netbeheer Nederland en het Netwerk Aquathermie. Deze trainee was in dienst via het Nationaal Energietrainership.

Integrale infrastructuurverkenning 2030-2050

Het startpunt van de studie waren de klimaat neutrale energiescenario's die als onderdeel van de integrale infrastructuurverkenning 2030-2050 (II3050) door de netbeheerders zijn opgesteld. Hierin wordt aquathermie niet of zeer beperkt behandeld. De vraag die naar voren kwam was: Hoe past aquathermie in deze toekomstscenario's? Kan het in deze context een significante techniek zijn of is het toch een niche oplossing?

Heat Roadmap Europe

Tijdens de studie kwamen de Heat Roadmap Europe (HRE) studies naar voren. De HRE is een serie studies naar duurzame warmte en koude in Europa. De studies zijn gefinancierd door de Europese Unie en liepen van 2012 tot 2020. In de studies zijn 14 lidstaten, waaronder Nederland, onderzocht. Een integrale benadering met synergiën tussen warmte, gas, hernieuwbare elektriciteit en mobiliteit stonden centraal in deze onderzoeken.

Studies vergelijken en hoe past aquathermie?

Als eerste wordt de link tussen aquathermie en warmtepomp toepassingen onder de loep gelegd. Wat wij in Nederland aquathermie noemen wordt in internationale context immers vaak als een toepassing van een warmtepomp beschouwd.

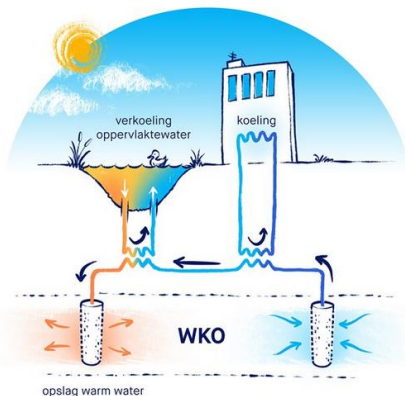
Ten tweede worden de conclusies van de HRE en de II3050 scenario's naast elkaar gelegd. Wat valt op? Wat zijn overeenkomsten en waar zijn er verschillen?

Als laatste wordt er weer naar aquathermie gekeken. Als een vorm van collectieve warmtepomp toepassingen heeft aquathermie een significante plek in de HRE toekomstscenario's. Hoe zou dat passen in de II3050 scenario's?

Hoe past aquathermie (met een potentie van ~150 PJ) in het warmtesysteem van 2050?

Om een bijdrage te leveren aan deze vraag heb ik gekeken hoe aquathermie in twee warmtetoekomstbeelden (HRE en II3050) past. Hiervoor is het eerst van belang om na te denken hoe aquathermie eigenlijk werkt.

Hoe werkt aquathermie?



Hoe past aquathermie in warmtetoekomstbeelden?



Werking aquathermie:

Aquathermie als bron voor grootschalige
warmtepompen

Wat voor een bron is aquathermie?

Aquathermie kan beschouwd worden als de toepassing van een (collectieve) warmtepomp met warmtenet.

Zou je in de winter in een meer springen om het warm te krijgen? Dat lijkt me niet. Maar als de bron koud is, hoe kan oppervlaktewater dan een warmtebron voor onze huizen zijn?

Aquathermie is geen bron zoals diepe geothermie of hoge temperatuur restwarmte

Rioolwater en oppervlaktewater heeft een te lage temperatuur om direct huizen te verwarmen. Het zou daarom verkeerd zijn om het als een bron zoals geothermie te beschouwen, waarbij de warmte direct in huizen gebruikt kan worden voor verwarming. Maar wat voor bron is het dan wel?

Het gebruik van een warmtepomp

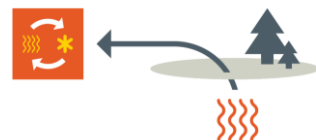
Om de warmte van oppervlaktewater nuttig toe te passen, is een warmtepomp nodig. Een warmtepomp onttrekt energie uit het water en levert warmte op een hogere temperatuur.

De mogelijke bronnen voor een warmtepomp zijn omgevingswarmte en (lage) temperatuur restwarmte. De omgevingswarmte bestaat uit lucht, bodem of water. Dus wat wij aquathermie noemen, kan ook de toepassing een warmtepomp worden beschouwd die omgevingswarmte (water) of restwarmte (riool) gebruikt.

Uitgebreidere beschrijvingen van aquathermie staan in de bijlage.



Lucht/water warmtepomp



Bodem/water warmtepomp

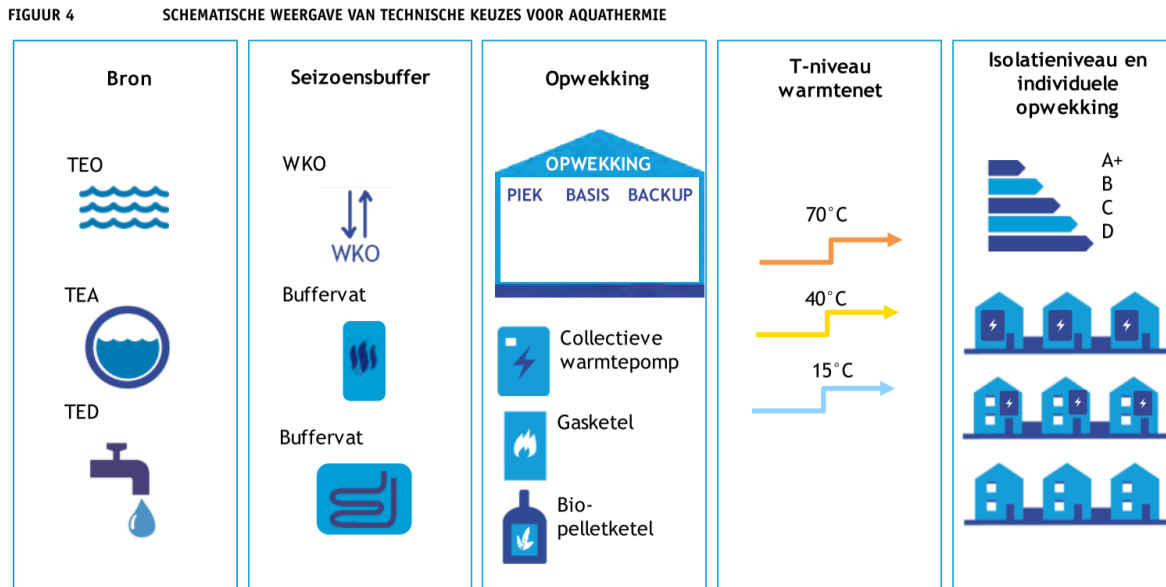


Water/water warmtepomp

Er zijn vele mogelijke configuraties van aquathermie.

324 mogelijke combinaties.

Voordat we doorgaan naar de toekomststudies is het goed om te realiseren dat er voor aquathermie veel mogelijke configuraties te bedenken zijn. Wanneer er naar het schema rechts wordt gekeken kom je uit op $3 \times 3 \times 3 \times 4 = 324$ mogelijke combinaties. Hierdoor zullen er altijd alternatieven configuraties denkbaar zijn t.o.v. een algemene beschouwing. Maar uiteindelijk is het werken met meer dan 300 mogelijkheden weinig inzichtelijk. Gelukkig zijn er een paar hoofdconfiguraties te onderscheiden.



Bron: [STOWA, Configuraties voor Aquathermie de afwegingen boven water, 2020](#)

Configuraties gesimplificeerd

324 2 mogelijke combinaties.

Configuraties 1:

- TEO
- met een WKO,
- Collectieve warmtepomp
- Een warmtenet van 70/40
- Goed geïsoleerde huizen.

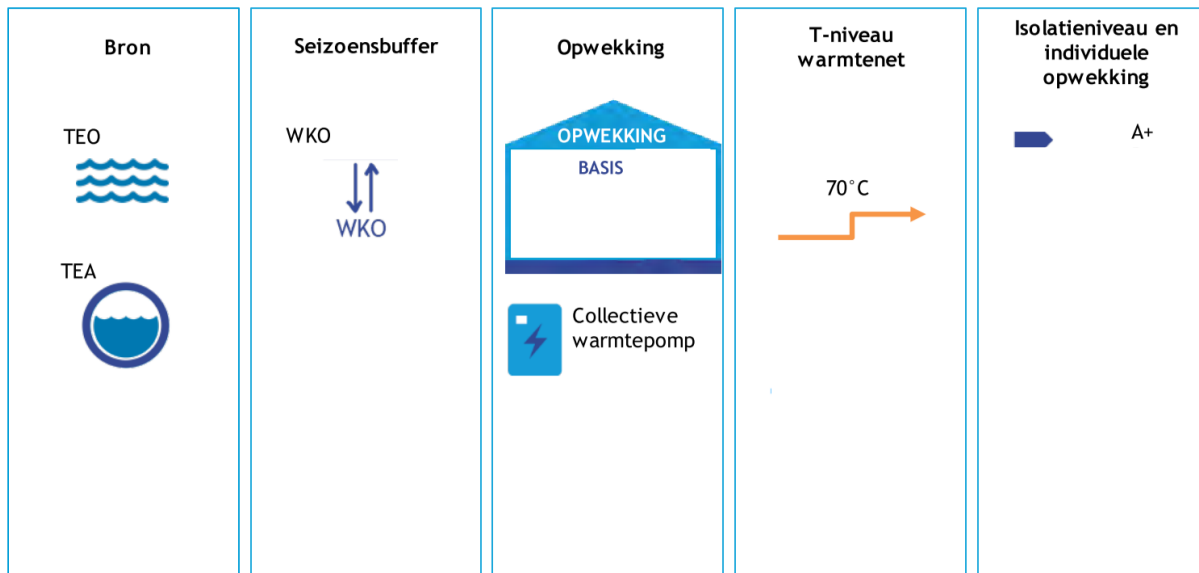
Configuraties 2:

- TEA
- Zonder WKO,
- Collectieve warmtepomp
- Een warmtenet van 70/40
- Goed geïsoleerde huizen

Deze twee configuraties komen overeen met het advies voor SDE++ subsidies.

FIGUUR 4

SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN TECHNISCHE KEUZES VOOR AQUATHERMIE

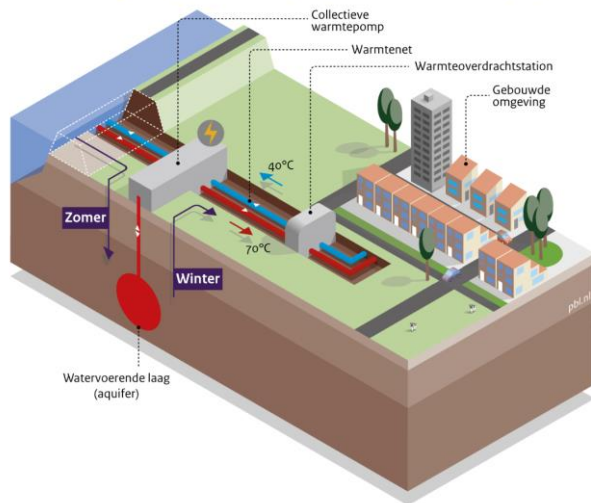


Bron: [STOWA, Configuraties voor Aquathermie de afwegingen boven water, 2020](#)

De twee hoofdconfiguraties in het SDE++ advies

Figuur 4-1

Thermische energie uit oppervlaktewater (TEO) met collectieve warmtepomp

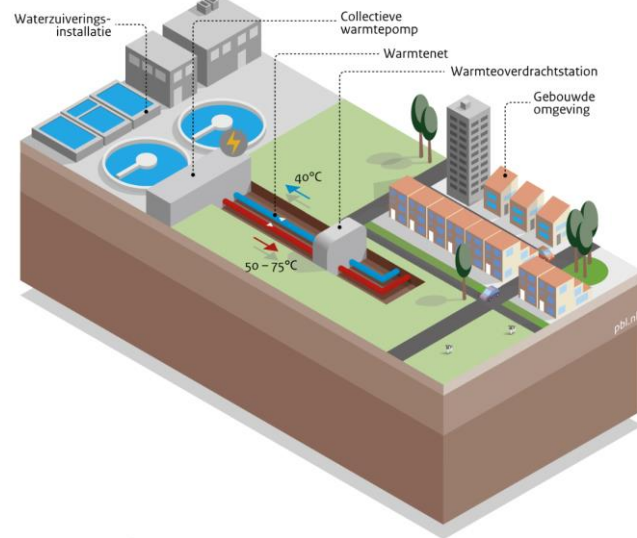


Bron: PBL, ECN part of TNO, DNV-GL

- Thermische energie uit oppervlakte water
- Met een lage temperatuur WKO
- Collectieve warmtepomp
- 70/40 graden warmtenet

Figuur 4-2

Thermische energie uit afvalwater (TEA) met collectieve warmtepomp



Bron: PBL, ECN part of TNO, DNV-GL

- Thermische energie uit een RWZI
- Geen WKO
- Collectieve warmtepomp
- 70/40 graden warmtenet

Bron: [PBL, eindadvies basisbedragen SDE++](#)

donderdag 5
november 2020

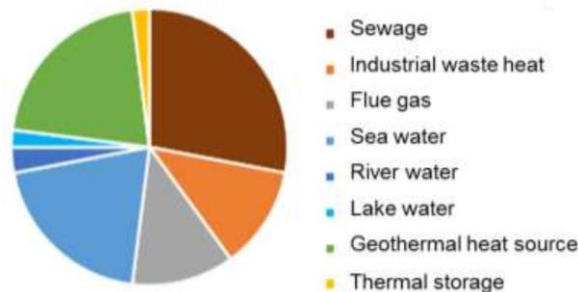
De helft van internationaal grootschalige warmtepomp toepassing kan aquathermie worden genoemd

Riool- en oppervlaktewater worden in studies als gunstige bronnen genoemd.

Warmtebronnen voor grootschalige warmtepompen

Wanneer je internationaal naar de warmtebronnen voor collectieve warmtepompen gaat zoeken valt iets op: de helft is aquathermie!

Aquathermie wordt niet als een aparte techniek beschouwd, maar als één van de mogelijke bronnen voor een warmtepomp. Het geïnstalleerde vermogen van de warmtepompen is aanzienlijk, >1000MW. In de bijlage (slide 36) staat een uitgebreidere tabel met de geïnstalleerde vermogens.



Verdeling van warmtebronnen voor een collectieve warmtepompen uit HRE onderzoek.

Type of heat source	Temperature	Stability/Security	Proximity to urban areas
Sewage water	▲	▲	▲
Ambient water	—	▲	▲
Industrial waste heat	▲	▼	—
Geothermal water	▲	▲	▼
Flue gas	▲	—	—
District cooling	▼	—	▲
Solar heat storage	▲	▲	—

Characteristics of the heat sources used by the heat pumps in the survey (▲ high, — medium, ▼ low).

Karakteristieken van warmtebronnen voor een collectieve warmtepompen uit HRE onderzoek

Aquathermie worden als gunstige bronnen benoemd

Uit de tabel links blijkt dat riothermie RWZI (TEA) als een van de meest gunstige warmtebronnen wordt gezien. Ook oppervlaktewater komt positief naar voren. Dus aquathermie kan als een gunstige warmtebron voor warmtepompen worden gezien.

[Bron: IEA HPT, Annex 47 Heat pumps in district heating and cooling systems, 2019, blz 30](#)

[Bron: IEA HPT, Annex 47 Heat pumps in district heating and cooling systems, 2019, blz 30](#)

Wat zijn implicaties van het inzicht dat aquathermie meestal de toepassing van warmtepompen is?

(Internationale) literatuur over warmtepompen en warmtenetten kunnen voor aquathermie worden gebruikt.

- De uitgebreide literatuur en onderzoeken over de toepassingen van warmtenetten kunnen worden gebruikt voor aquathermie.
- Dit geldt ook andersom, inzichten in de toepassing van aquathermie kunnen breder getrokken worden naar de algemene toepassing van warmtepompen.
- Voorbeelden zijn Heat Roadmap Europe en onderzoek naar regulering in de warmtemarkt door SEO en Ecorys die veel inzicht geven over governance rond aquathermie. Rapport: [Regulering warmtemarkt.](#)

Aquathermie als regeneratie voor een WKO of als koeling.

- Bij TEO projecten wordt vaak een warmte-koude opslag (WKO) toegepast. WKO's werken ook zonder aquathermie. De aanvulling van aquathermie kan ervoor zorgen dat er geen onbalans in de ondergrond ontstaat doordat de onttrokken warmte weer aangevuld wordt. In de bijlages staat hier meer over.
- Het is met aquathermie ook goed mogelijk om te koelen. Dit is natuurlijk niets nieuws, fabrieken gebruiken al eeuwen water om af te koelen.
- Bij koelen is het ook mogelijk om van een warmtepomp toepassing te spreken. Een airco is immers een warmtepomp en met aquathermie koelen kan ook door middel van een warmtepomp.



Netbeheer
Nederland

Aquathermie in Toekomststudies

Heat Roadmap Europe en Klimaatneutrale
Scenario's

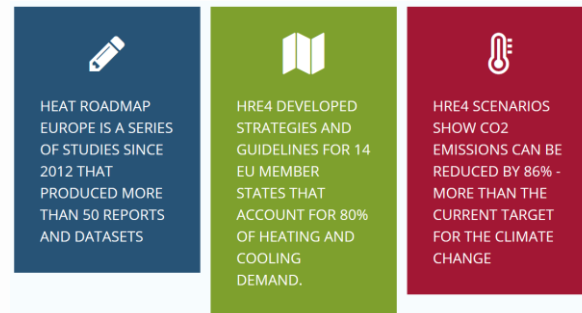
In de volgende slides wordt aquathermie in de context van twee toekomst studies besproken. We beginnen bij de Heat Roadmap Europe (HRE).



Klimaatneutrale scenario's 2030-2050

Klimaatneutrale energiescenario's 2050 is onderdeel van een integrale infrastructuur studie (II3050) en werkt met vier scenario's. De studie is afgelopen jaar uitgevoerd door Berenschot en Kalavasta in opdracht van Netbeheerders.

Bron: *Klimaatneutrale energiescenario's 2050, Berenschot & Kalavasta, 2020*



Heat Roadmap Europe

Heat Roadmap Europe (HRE) is een serie van studies naar duurzame warmte en koude die sinds 2012 lopen en tot meer dan 50 rapporten en datasets heeft geleid. Het project wordt gefinancierd door de Europese Commissie. De onderzoeken zijn 14 EU lidstaten (waaronder Nederland) onderzocht. De coördinerende partij is de Sustainable Energy Planning Research Group van Aalborg, maar er zijn nog vele partners.

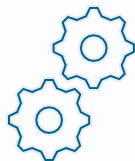
Bron: <https://heatroadmap.eu/project/>,

11/5/2020

De key messages van Heat Roadmap Europe



Voor klimaatneutrale warmte en koude is er energie efficiëntie nodig aan zowel **de vraag als aanbod** kant.



Individuele warmtepompen zouden het grootste deel van de warmtevraag moeten voorzien in gebieden met een lage warmte dichtheid, dus vooral buiten dorpen en steden.



Warmte besparingen kunnen de Europese warmtevraag kostenefficiënt verminderen met 30-50%.



Grootschalige warmtepompen en andere bewezen technieken kunnen de volgende generatie warmtenetten voorzien van hernieuwbare warmte.

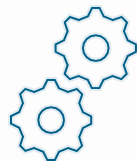


Het aandeel **warmtenetten** zou moeten groeien van 10% tot 50% in 2050.



Energy system: Thermische opslag is ongeveer 100x goedkoper dan elektriciteit opslag. Hierdoor zullen warmtenetten en warmtepompen een centrale rol spelen in het accommoderen van grote hoeveelheden zon en wind energie. Dit komt overeen met een **Smart Energy System** benadering.

De key messages van Heat Roadmap Europe



Individuele warmtepompen zouden het grootste deel van de warmtevraag moeten voorzien in gebieden met een lage warmte dichtheid, dus vooral buiten dorpen en steden.

Hieronder past ook aquathermie
Zoals eerder gezegd wordt het zelfs als een van de meest gunstige bronnen genoemd en wordt het al het meest toegepast.



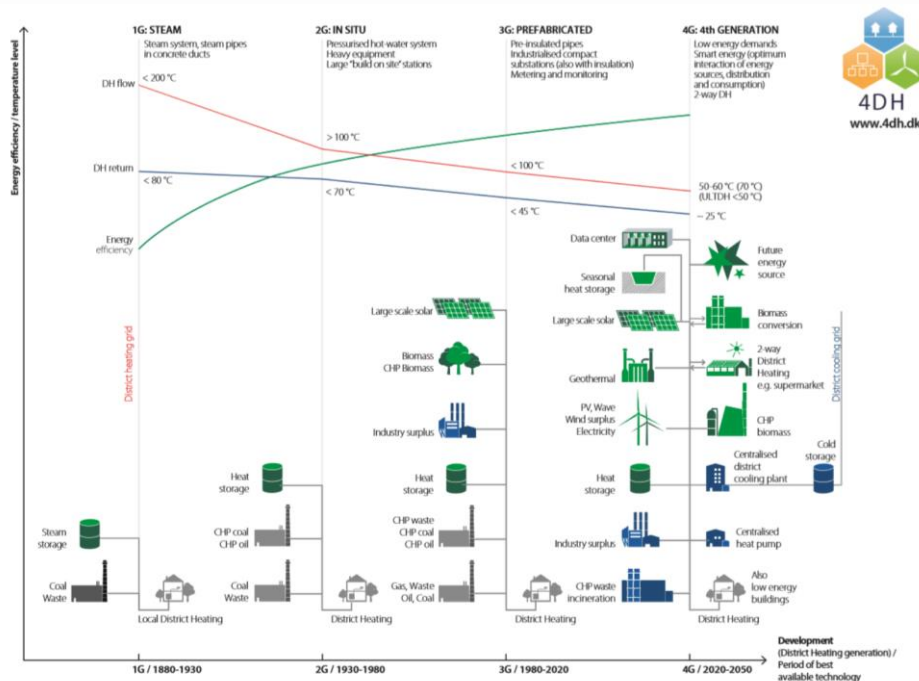
Grootschalige warmtepompen en andere bewezen technieken kunnen de volgende generatie warmtenetten voorzien van hernieuwbare warmte.



Energy system: Thermische opslag is ongeveer 100x goedkoper dan elektriciteit opslag. Hierdoor zullen warmtenetten en warmtepompen een centrale rol spelen in het accommoderen van grote hoeveelheden zon en wind energie. Dit komt overeen met een **Smart Energy System** benadering.

In het HRE worden nieuw generatie warmtenetten genoemd. Deze laag temperatuur netten bieden de mogelijkheden voor aquathermie.

Ontwikkeling nieuwe generaties warmtenetten.

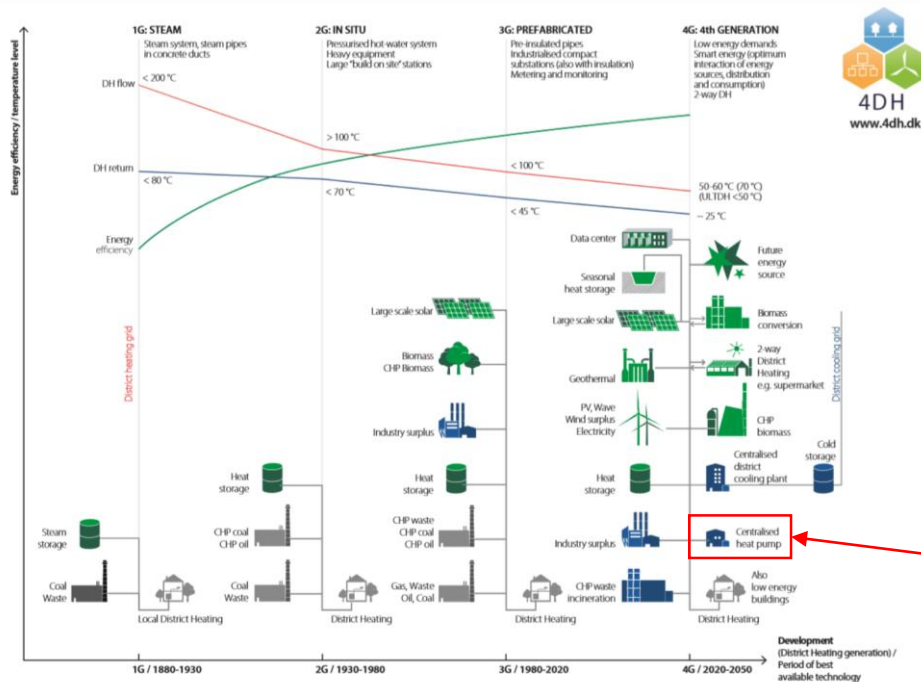


Nieuwe generatie warmtenetten kenmerken zich door:

- Lagere temperatuur, dit geeft een hogere efficiëntie en meer mogelijkheden voor bronnen
- Interactie tussen verschillende energiebronnen
- Mogelijkheid voor distributie en consumptie. (2-way district heating)

In het HRE worden nieuw generatie warmtenetten genoemd. Deze laag temperatuur netten bieden de mogelijkheden voor aquathermie.

Ontwikkeling nieuwe generaties warmtenetten.



Nieuwe generatie warmtenetten kenmerken zich door:

- Lagere temperatuur, dit geeft een hogere efficiëntie en meer mogelijkheden voor bronnen
- Interactie tussen verschillende energiebronnen
- Mogelijkheid voor distributie en consumptie. (2-way district heating)

Aquathermie?



Aquathermie past bij de toepassing van grootschalige warmtepompen in het HRE, een speerpunt van het onderzoek. Deze toepassing komt echter niet voor in het II3050 Rapport

Aquathermie staat niet in het II3050 rapport. In de volgende slides gaan we in op de overeenkomsten en verschillen tussen het HRE en II3050 rapport en kijken we naar mogelijkheden voor aquathermie.

- Wat zijn de verschillen tussen HRE en het II3050 rapport?
- Hoe is de warmtebron verdeling in het II3050 rapport?
- Hoe zou aquathermie er vervolgens in passen?

Klimaatneutrale energiescenario's 2050 is onderdeel van een infrastructuur studie en werkt met vier scenario's

In opdracht van Netbeheerders is er een studie gemaakt over duurzame energiesector in 2050

- Onderdeel van de Integrale Infrastructuur verkenning voor 2030-2050 (II3050),
- Het Klimaatakkoord vormt het startpunt voor 2030.
- Er zijn vier scenario's verkend die de hoekpunten van het speelveld schetsen.
- Onderzoek uitgevoerd door Berenschot en Kalavasta. De modellen zijn gebaseerd op het Energietransitie model (ETM) van Quintel.

Vier scenario's zijn gebaseerd op verschillende sturingen.



Regionale sturing



Nationale sturing



Europese sturing



Internationale sturing

De HRE en II3050 komen overeen in de energie besparingen en grootschalige toepassingen van individuele warmtepompen.



Key message HRE

Voor klimaatneutrale warmte en koude is er energie efficiëntie nodig aan zowel **de vraag als aanbod** kant.

Dit punt wordt ook erkend in de II3050.



Warmte besparingen kunnen de Europese warmtevraag kostenefficient verminderen met 30-50%.

De gebouwde omgeving heeft een gemiddeld label van A of B. Dit komt overeen met de warmtebesparingen.



Individuele warmtepompen zouden het grootste deel van de warmtevraag moeten voorzien in gebieden met een lage warmte dichtheid, dus vooral buiten dorpen en steden.

In elke scenario wordt het grootste deel van de warmtevraag door individuele warmtepompen voorzien. Er wordt echter geen onderscheid gemaakt voor gebieden met een lage warmtedichtheid.

De HRE en II3050 verschillen in het aandeel warmtenetten, de toepassing van grootschalige warmtepompen en de synergie van warmte en het energiesysteem.

Key message HRE

II3050



Het aandeel **warmtenetten** zou moeten groeien van 10% tot 50% in 2050, gebaseerd op kosten en energie afwegingen.

De toepassing van warmtenetten varieert van 15% tot 45%. Dit is dus minder dan de HRE voorstelt.



Grootschalige warmtepompen en andere bewezen technieken kunnen de volgende generatie warmtenetten voorzien van hernieuwbare warmte.

De combinatie (grootschalige) warmtepompen met warmtenetten wordt helemaal niet genoemd. In mijn ogen is dit nou juist de toepassing van **aquathermie**.



Energy system: Thermische opslag is ongeveer 100x goedkoper dan elektriciteitsopslag. Hierdoor zullen warmtenetten en warmtepompen een centrale rol spelen in het accommoderen van grote hoeveelheden zon en wind energie. Dit komt overeen met een **Smart Energy System** benadering.

Smart energy system concept wordt niet genoemd. Verdere optimalisatie en benodigde infrastructuur is onderdeel van de volgende onderzoeksfase, fase 2. Echter valt warmte (deels) buiten de scope van die verkenningen.

Aquathermie in II3050

We hebben de hoofdboodschappen uit het HRE vergeleken met de klimaatneutrale scenario's. Met deze vergelijking in de achterhoofd zullen we nu inzoomen op de verdeling van energievraag in de scenario's en afvragen hoe aquathermie hierin kan passen.

Beschouw de volgende slides als een gedachte-experiment, niet als een direct model. Er zijn namelijk geen uitvoerige berekeningen gedaan. Het voornaamste doel is om een gevoel te krijgen van de plaats en potentie tussen de andere energiebronnen en mogelijke knelpunten te identificeren.

In de volgende slide kijken we eerst naar de invulling van de warmtevraag in gebouwde omgeving zoals het in de klimaatneutrale energiescenario's is opgenomen.



De invulling van de warmtevraag in de II3050 scenario's is volledig door warmtepompen en via warmtenetten

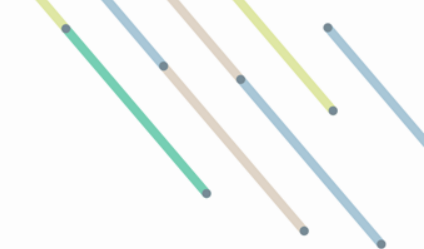
De tabel hieronder komt uit de klimaatneutrale scenario's en laat de invulling voor de warmtevraag van huishoudens voor de vier scenario's zien. Een paar hoofdpunten:

- Toepassing van warmtepompen varieert van 55% tot 85% van de warmtevraag huishoudens.
- Toepassing warmtenet varieert van 15% tot 45%.
- Isolatie van gemiddeld A – B

Tabel 12 Input verdeling warmtevraag huishoudens

	Regionale sturing	Nationale sturing	Europese CO ₂ -sturing	Internationale sturing
Isolatie	Gemiddeld A/B	Gemiddeld A	Gemiddeld B	Gemiddeld B
All electric WP	35%	55%	25%	25%
Hybride WP (groengas)	20%	20%	40%	-
Hybride WP (waterstof)	-	-	20%	60%
Warmtenet (eventueel ook uitwisselbaar met warmtenet gebouwen)	45% waarvan: 100% geothermie met piek groen gas/biomassa	25% waarvan: 70% geothermie met piek groen gas/bio- massa, 15% groen gas, 10% biomassa, 5% restwarmte AVI's	15% waarvan: 14% geothermie met piek groen gas/bio- massa, 66% groen gas, 8% biomassa, 12% restwarmte AVI's en industrie	15% waarvan: 14% geothermie met piek waterstof, 21% waterstof, 28% biomassa, 37% restwarmte AVI's en industrie

De invulling van de warmtevraag in de II3050 scenario's is volledig door warmtepompen en via warmtenetten: hoe verhoudt aquathermie zich?



Toepassing van warmtepompen varieert van 55% tot 85% van de warmtevraag huishoudens.

- Grote hoeveelheid warmtepomp toepassing. En aquathermie is ook een warmtepomp toepassing. Echter wordt hier gesproken over individuele warmtepompen, waar aquathermie meestal een toepassing van collectieve warmtepompen is.

Toepassing warmtenet varieert van 15% tot 45%.

- De hoeveelheid warmtenet verschilt sterk per scenario. Grootschalige aquathermie toepassing gaat gepaard met een warmtenet. Als er maar weinig warmtenetten zullen worden toegepast zal dit op den duur limiterend zijn voor de toepassing van aquathermie. En binnen deze warmtenetten zal aquathermie met andere bronnen concurreren (of gecombineerd kunnen worden).

Isolatie van gemiddeld A – B.

- Aquathermie heeft een hoge isolatiegraad nodig om rendabel te zijn. Dus dit past bij de toepassing van aquathermie.

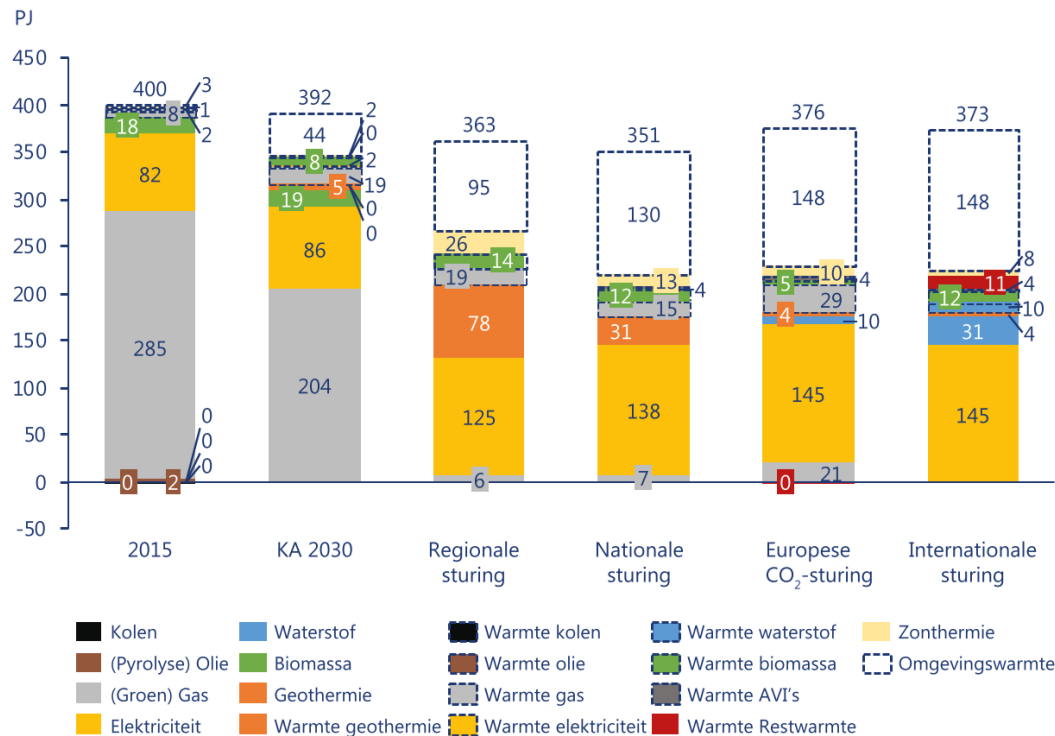
Een groot deel van de warmtevraag wordt ingevuld door omgevingswarmte. Dit hoort bij de toepassing van warmtepompen.

Warmtepompen maken gebruik van omgevingswarmte.

De grafiek laat de invulling van de energievraag voor huishoudens zien, zoals opgenomen in de klimaatneutrale energiescenario's.

Hoofdpunten

- Omgevingswarmte is een grote speler. Dit komt overeen met de toepassing van warmtepompen.
- De andere energie vraag van warmtepompen komt van elektriciteit waterstof of groengas.
- Hoe past de potentie van aquathermie in deze context?



Figuur 33 Finale energievraag huishoudens met uitsplitsing warmtenetten (inclusief omgevingswarmte) N.B. verliezen warmtenetten en warmteproductie niet meegenomen

Bron: *Klimaatneutrale energiescenario's 2050*. Berenschot & Kalavasta, 2020 Blz. 68

11/5/2020

27

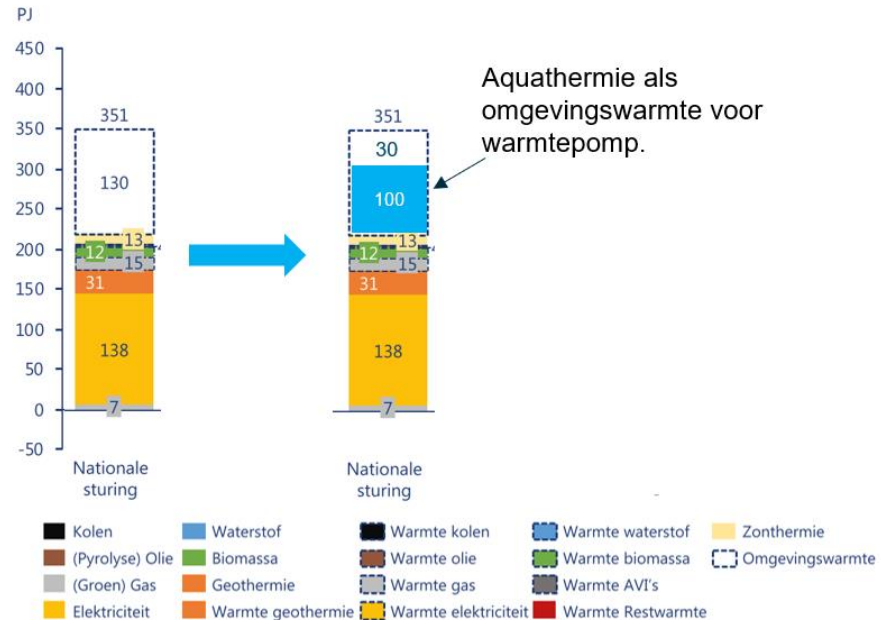
Disclaimer: Quintel is bezig om aquathermie in haar modellen te verwerken. Hiermee zal een veel genuanceerder en correcter beeld gevormd kunnen worden.

Aquathermie als omgevingswarmte bij warmtepomp toepassing

Aquathermie past bij het gebruik van omgevingswarmte en elektriciteit.

- In de grafiek rechts is 100 PJ aan aquathermie meegenomen. Wanneer men aquathermie als omgevingswarmte beschouwt kan het de plek innemen van de warmte die warmtepompen normaal uit de lucht halen. Dit gaat mogelijk gepaard met een lagere elektriciteitsgebruik vanwege de hogere brontemperatuur. Via dit perspectief zou grootschalige aquathermie toepassing goed in het toekomstplaatje passen.
- De vraag blijft of de extra kosten en moeite voor aquathermie de toepassing rechtvaardigen. Dit is een complexe vraag die niet direct te beantwoorden is en laten we nu open.
- Echter is in dit perspectief de beperkingen van een warmtenet niet meegenomen. Hier gaan we in de volgende slide op in.

Hier is ter voorbeeld de nationale sturing scenario gebruikt.



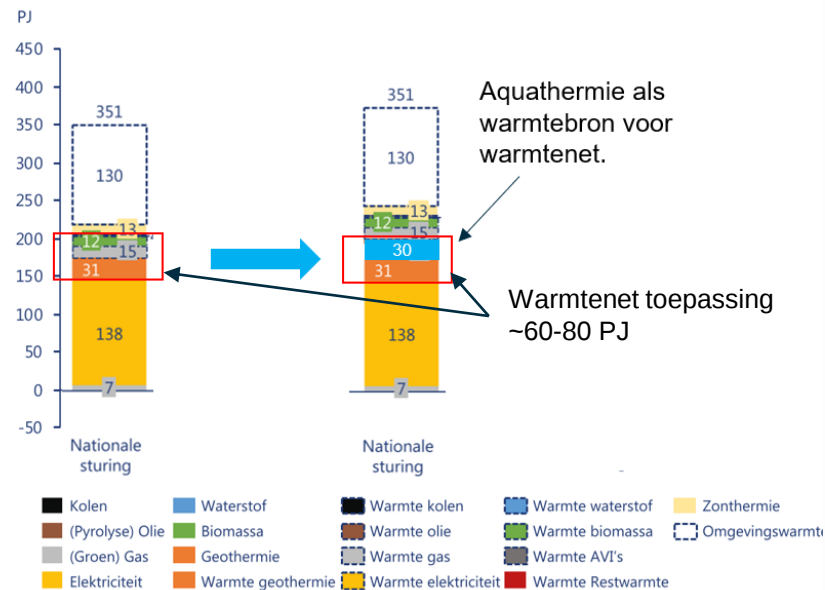
Figuur 33 Finale energievraag huishoudens met uitsplitsing warmtenetten (inclusief omgevingswarmte) N.B. verliezen warmtenetten en warmteproductie niet meegenomen

Optie 2: Aquathermie als warmte bron in warmtenet (zoals geothermie)

De hoeveelheid warmtenetten is scenario afhankelijk en kan limiterend zijn voor de uitrol van aquathermie.

- Wanneer je ervan uitgaat dat aquathermie een warmtenet nodig heeft, kan de hoeveelheid warmtenetten gaan knellen. Je kunt immers niet 100 PJ aquathermie toepassen als er maar 60 PJ aan warmte door een warmtenet kan.
- In de Europese en internationale scenario's met 15% warmtenetten zal dit knellen,.
- Bij de regionale scenario's met 45% warmtenet is er voldoende ruimte voor grootschalig aquathermie in de warmtenetten.
- Bij het nationale scenario zal het concurreren worden om de ruimte op het warmtenet, maar is nog steeds een aanzienlijke hoeveelheid aquathermie mogelijk.

Hier is ter voorbeeld het nationale sturing scenario gebruikt.



Figuur 33 Finale energievraag huishoudens met uitsplitsing warmtenetten (inclusief omgevingswarmte) N.B. verliezen warmtenetten en warmteproductie niet meegenomen

Concluderend over de scenario's

- Als omgevingswarmtoepassing lijkt er veel ruimte voor aquathermie in de scenario's.
- Het betekent ook dat aquathermie een flinke elektriciteitsvraag heeft, zoals warmtepompen dat altijd hebben.
- Tegelijkertijd komt naar voren dat warmtenetten beperkend kunnen zijn voor de toepassing van aquathermie. In scenario's met lage hoeveelheden warmtenetten is de ruimte voor grootschalige aquathermie toepassing beperkt.
- Er blijven open vragen bijvoorbeeld:
 - Zijn collectieve warmtepompen met een warmtenet een goed alternatief t.o.v. individuele warmtepompen?
 - Weegt winst van aquathermie op tegen de extra investering die gemaakt wordt?
 - Wat zijn de mogelijkheden voor buffering en flex die met collectieve warmtepompen en aquathermie gerealiseerd kunnen worden?

Samenvattend

- In dit document is aquathermie in een bredere context van een algemene toepassing van collectieve warmtepompen met een warmtenet (WP + WN) geplaatst.
- In de Heat Roadmap Europe studies worden deze toepassing van grootschalige WP + WN als een key toepassing voor nieuwe generatie warmtenetten genoemd.
- Er is een grote potentie voor aquathermie, want er is veel omgevingswarmte beschikbaar. Er komt ook een flinke elektriciteitsvraag bij kijken voor de (warmte)pompen.
- Er is een warmtenet nodig voor grootschalig aquathermie gebruik. Dit warmtenet kan limiterend zijn voor de totale toepassing van aquathermie.
- (Internationale) Literatuur over warmtenetten, grootschalige warmtepompen en de warmtemarkt zijn relevant voor aquathermie. Bijvoorbeeld het recente onderzoek van Ecorys en SEO naar de regulering in de Nederlandse warmtemarkt kan heel veel inzicht geven over de governance van aquathermie.

[Link: Ecorys/SEO, Regulering van de Nederlandse warmtevoorziening, 2020](#)

Bijlagen

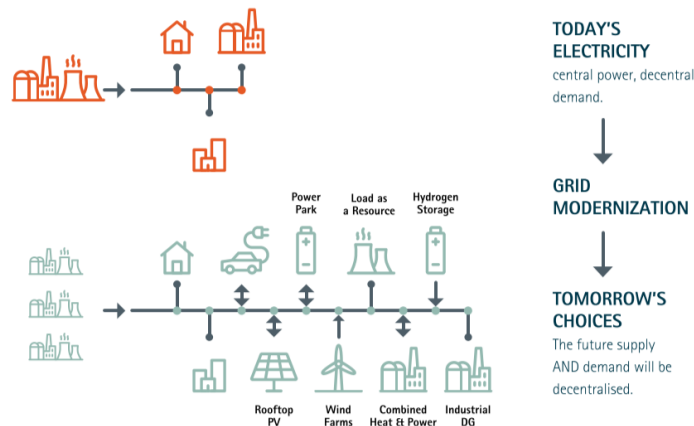
Smart energiesysteem, net flexibiliteit met warmtepompen

Ons energiesysteem zit in een transitie van een systeem met centrale opwek naar een systeem met decentrale opwek.

Door fluctuatie en elektrificatie neemt de druk op het elektriciteitsnet toe.

- Decentrale opwek, weersafhankelijke opwek en grotere afhankelijkheid van elektriciteit zorgt voor problemen met de elektriciteitsinfrastructuur.
- Hierdoor is er behoefte voor flexibiliteit.
- De ontwikkelingen in digitalisering zorgen ervoor dat het mogelijk wordt om efficiëntie afstemmingen tussen energie-opwek, dragers en vraag te realiseren.
- In een slim energiesysteem kunnen (collectieve) warmtepompen een interessante rol spelen als link tussen elektriciteit en warmte.

Figure 18 TRADITIONAL GRIDS VERSUS THE GRID OF THE FUTURE



Source: IEE

[*European Copper institute: heat pump integrating technologies to decarbonise heating and cooling*](#)

Net flexibiliteit door middel van warmtepompen.

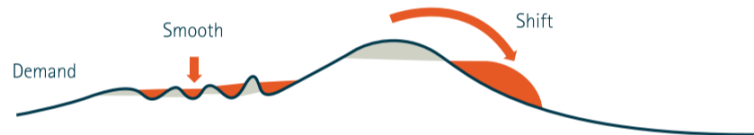
- De figuur rechts illustreert de mogelijkheid om met warmtepompen flexibiliteit in de energievraag te creëren.
- Dit idee is een belangrijk principe in de Heat Road Map Europe waar is gekeken naar synergieën tussen verschillende energiedragers.

Figure 17 THE EFFECT OF HEAT PUMP-INDUCED FLEXIBILITY ON THE DEMAND CURVE

A. DIRECT LOAD CONTROL



B. INTELLIGENT LOAD CONTROL



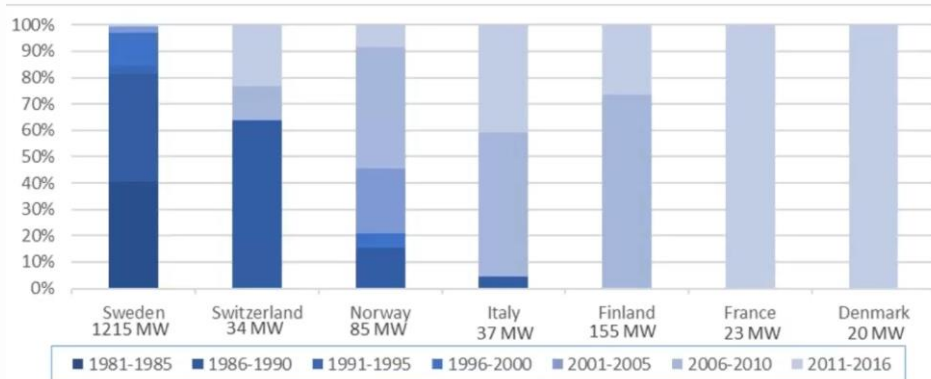
Source: Adapted from Integral Analytics Inc.

[European Copper institute: heat pump integrating technologies to decarbonise heating and cooling](#)

Capaciteiten en marktontwikkeling grootschalige warmtepompen



Capaciteiten en marktontwikkeling grootschalige warmtepompen



Warmtebron verdeling voor grootschalige warmtepompen.

Type of Heat Source	Capacity (MW)	Number of Units	Average Capacity Per Unit (MW)	Temperature Range (°C)
Sewage water	891	54	17	10–20
Ambient water	390	34	11	2–15
Industrial waste heat	129	28	5	12–46
Geothermal heat	97	19	5	9–55
Flue gas	40	7	6	34–60
District cooling	30	4	7	0–9
Solar heat storage	4	3	1	10–35
Total	1580	149		0–60

HRE Webinar <https://www.youtube.com/watch?v=39SgAqXt8Kw> Op minuut 22-24

Warmtenetten markt

Aquathermie is geen losse techniek, maar verbonden aan de warmte(net)markt. Trends zijn inherent verbonden aan de marktontwikkeling.

De warmte markt zit in een initiële fase en aan het begin van de expansie fase.

Naar aanleiding van de nieuwe warmtewet hebben SEO en Ecorys in opdracht van NBNL een studie gedaan naar de regulering van de warmtemarkt.

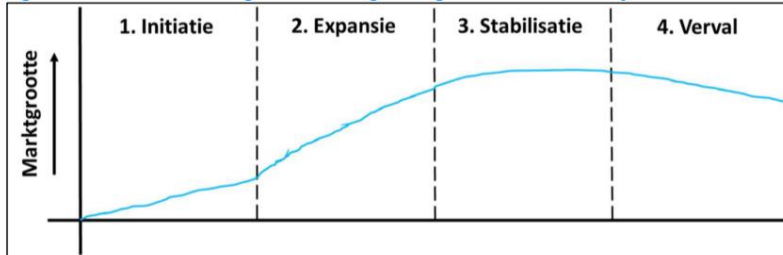
Aquathermie is verbonden aan deze markt en warmtenetten. Hierdoor kan de aquathermie community ook leren van dit rapport.

Volgens het rapport zit de warmtemarkt nog in een initiële fase. Dit geldt daardoor ook voor aquathermie, waardoor de beperkte toepassing erg logisch is vanuit dit framework.

Investeringscurve voor route naar 50% warmtenetten in 2050.

In het Heat Roadmap Europe rapport is er een tijdlijn van investeringen in Europa gemaakt die nodig zijn om naar 50% warmtenetten te gaan in 2050. Opvallend is dat deze curve piekt tussen 2025 en 2040. Net als het SEO onderzoek laat het zien dat we aan de vooravond staan van een grote expansie, waar aquathermie mogelijk een aanzienlijke plek kan krijgen.

Figuur 4.1 De ontwikkeling van de marktgrootheid gedurende de levenscyclus van de markt



Bron: SEO & Ecorys, op basis van De Jong (1981), *Dynamische markttheorie*.

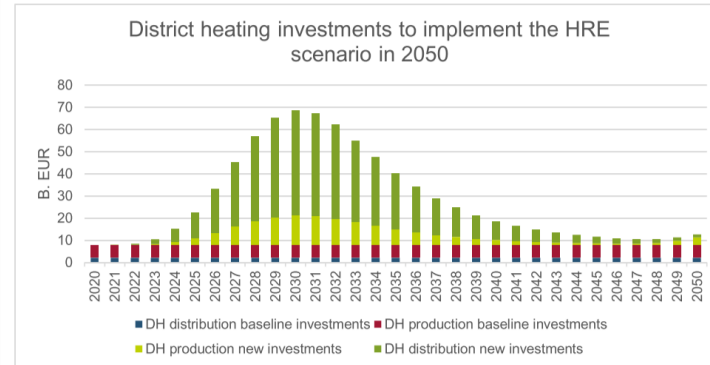
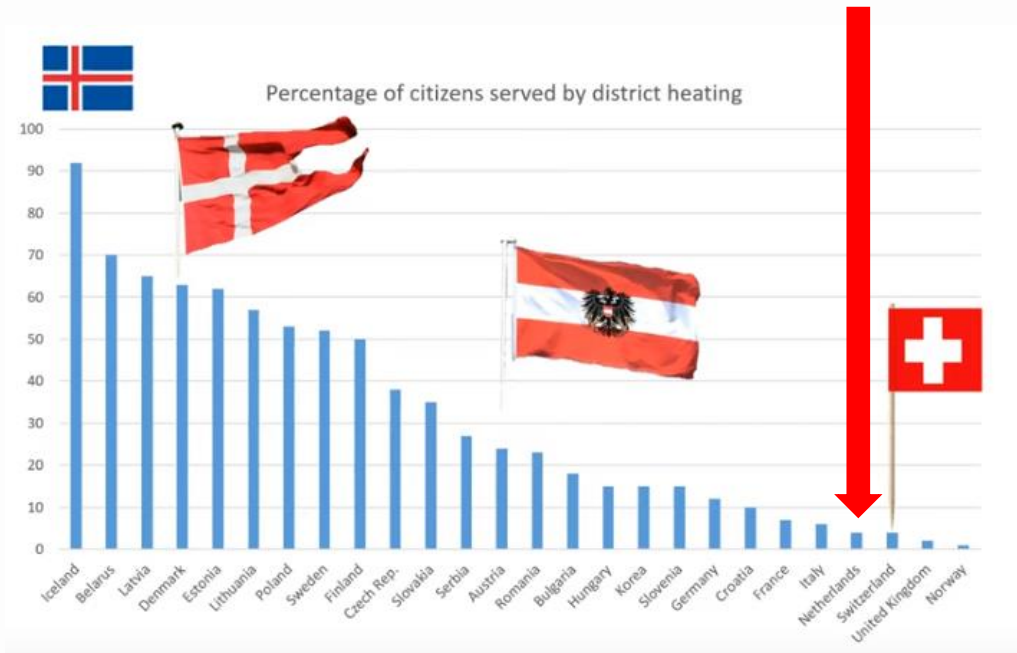


Figure 5-4. Estimation of distribution of district heating investments to reach the HRE 2050 scenario. X50 = 2030, m = 4

Warmtenetten zijn nog beperkt aanwezig in Nederland. Uiteindelijk is onze warmte infrastructuur (logischerwijs) gebaseerd op gas.

Nederland



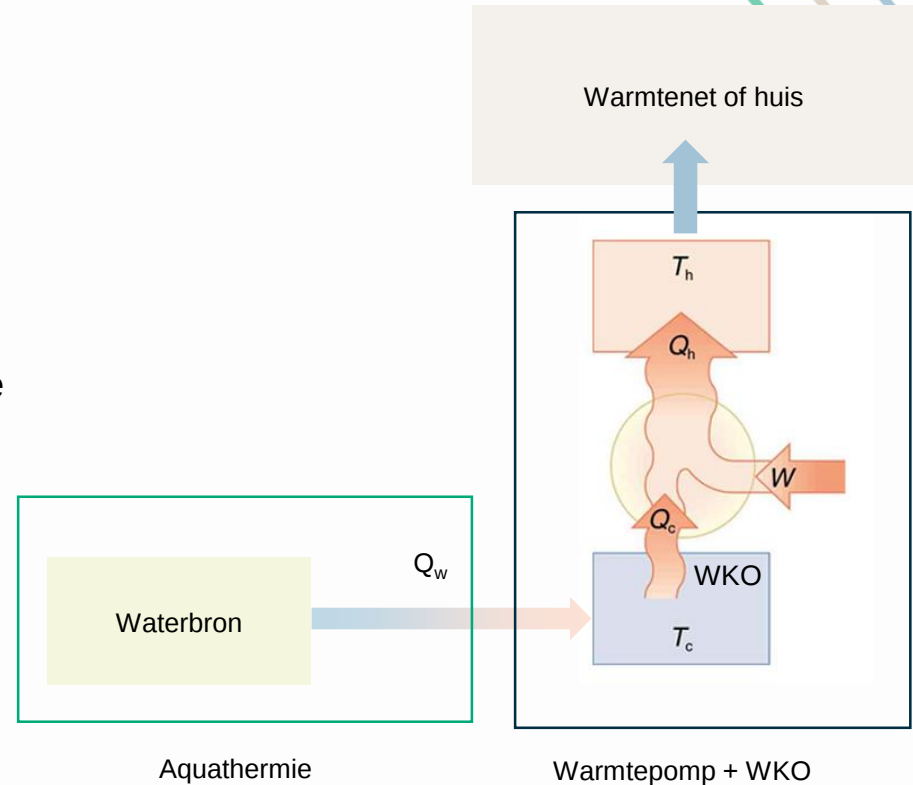
<https://www.youtube.com/watch?v=outdfvZitEs>, Celsius talk: "Heat-pumping the future of district energy", Svend Pedersen, min 17

Werking warmtepomp/aquathermie

Aquathermie als bron voor een warmtepomp

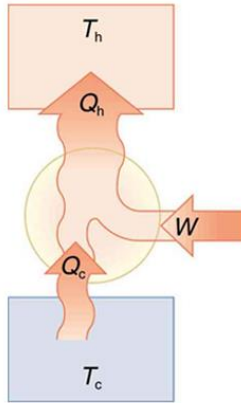
Aquathermie levert de aanvoer van energie voor een warmtepomp (+ WKO)

- In de volgende slides zal de werking van een warmtepomp en aquathermie worden beschreven.
- Hieruit volgt dat aquathermie een bron is voor de warmtepomp en warmtenet.
- Deze plaats in het systeem kan ook door andere warmtebronnen worden ingevuld.
- Aquathermie kan ook als regeneratie voor een WKO worden gezien.



Hoe werkt een warmtepomp?

Schematische weergave warmtepomp



T_c = temperatuur koude plek

T_h = temperatuur warme plek

Q_c = onttrokken thermische energie uit de koude plek

Q_h = geleverde thermische energie aan de warme plek

W = gebruikte elektrische energie

Een warmtepomp gebruikt elektriciteit om energie van een koude plek naar een warme plek te brengen.

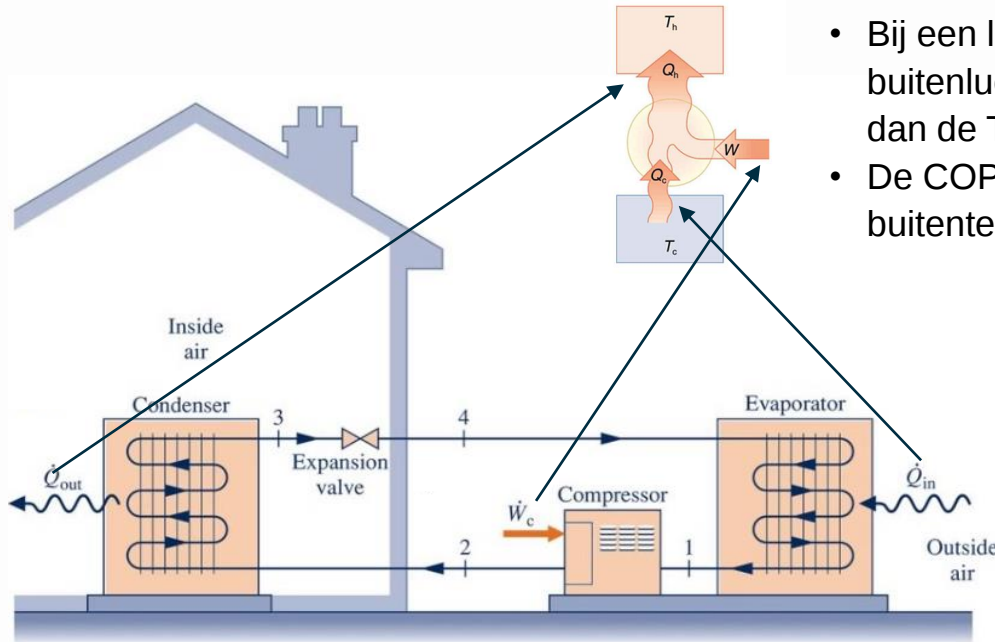
- Bij een warmtepomp wordt warmte uit een koude plek onttrokken en naar een warme plek afgeleverd.
- De pomp verbruikt elektrische energie om dit te doen.
- De efficiëntie wordt vaak uitgedrukt in de Coëfficiënt of performance (COP). Deze is gedefinieerd als de warmtelevering per hoeveelheid benodigde elektriciteit.

$$COP = \frac{Q_h}{W}$$

Hierbij wordt de energie uit de koude plek (Q_c) vaak als 'vrije' energie gezien.

Een lucht warmtepomp onttrekt energie uit de buitenlucht. Hierdoor is de efficiëntie gelinkt aan de buitentemperatuur.

Een buitenlucht warmtepomp



De COP van een luchtwarmte pomp is gelinkt aan de buitentemperatuur.

- Bij een lucht warmtepomp wordt de Q_{in} vanuit de buitenlucht gehaald. De buitentemperatuur is dan de T_c .
- De COP is hierdoor gerelateerd aan de buitentemperatuur.

De efficiëntie van een luchtwarmte pomp is het laagst in de winter

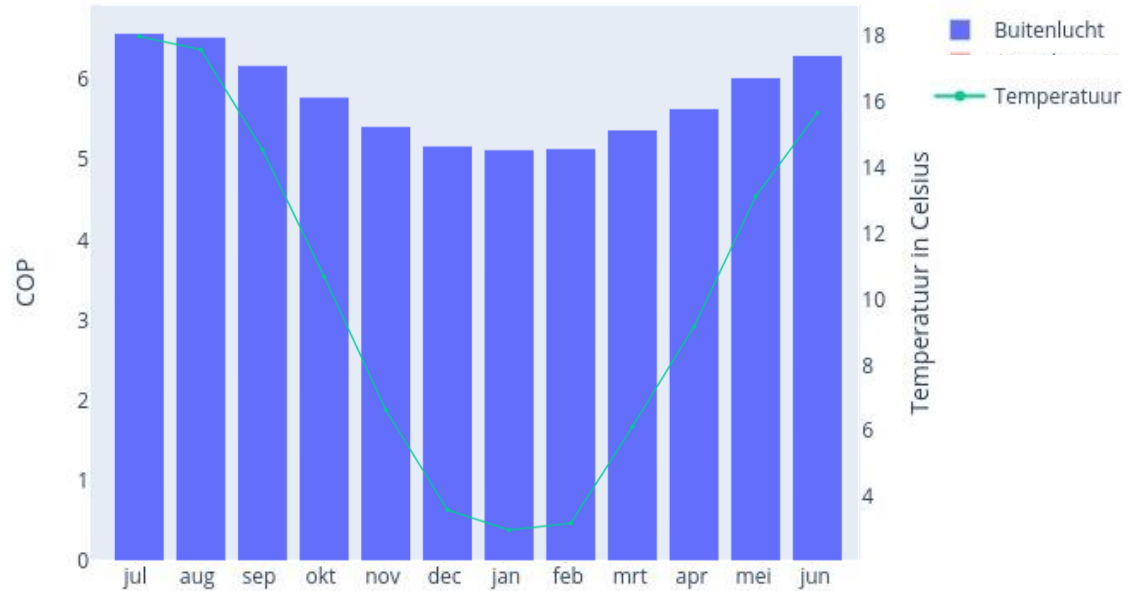
Een WKO kan de COP verbeteren.

- De COP van de warmtepomp is het laagst in de winter.

Hoe kan de COP verhoogd worden?

- We weten: Hoe kleiner het verschil tussen T_h en T_c , hoe hoger de COP.
- Dus door T_c (temperatuur koude plek) te verhogen wordt de COP beter.
- Met een WKO kan dit worden gedaan.

Theoretische invloed buitentemperatuur op de COP bij een warmtelevering van 70 °C.

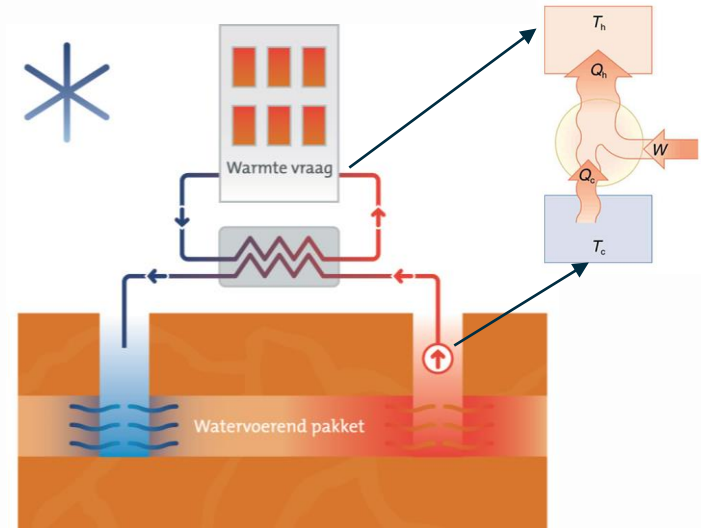


Een WKO kan de efficiëntie van een warmtepomp in de winter verhogen.

Met een WKO wordt de COP afhankelijk van de grondwatertemperatuur ($\sim 15^\circ\text{C}$)

- De temperatuur van de WKO is ongeveer $13\text{--}18^\circ\text{C}$ en constant.
- Hierdoor is in de winter de temperatuur van de WKO hoger dan de buitenlucht.
- Dit leidt tot een hogere COP, want hoe kleiner het verschil tussen T_h en T_c , hoe hoger de COP.
- De werking van de warmtepomp is verder hetzelfde. De verdamper haalt nu alleen niet energie uit de buitenlucht, maar uit het WKO.

Een WKO gebruikt opgeslagen warmte in grondwater



Ontwikkeling COP over de maanden

De COP met een WKO is in de winter hoger dan van een luchtwarmte pomp

- De grafiek laat het effect van een WKO per maand zien. De COP met WKO is hoger in de koude maanden, van oktober tot april.
- De temperatuur in de WKO is constant, waardoor ook de COP constant is.
- *Integraal perspectief:* De invloed van een WKO is het grootst op het moment dat de warmtevraag het hoogst is. Hierdoor wordt de piek elektriciteitsvraag in de winter verminderd.

De COP met of zonder WKO



De grafiek laat de theoretische COP zien met of zonder WKO. De warmtelevering is naar een plek van 70 °C met een WKO temperatuur van 15 °C .

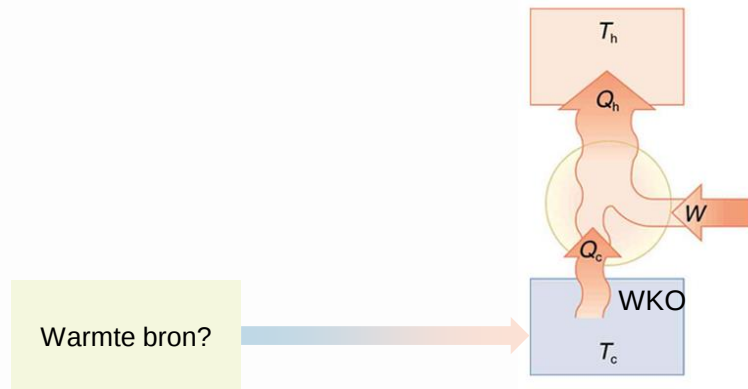
Interactieve grafiek: <https://chart-studio.plotly.com/~Ceesdewit/12>

Waar komt de warmte vandaan?

Met aquathermie kan de warmte toegevoegd worden aan de WKO

- Als er alleen maar warmte onttrokken wordt zal het grondwater afkoelen. Om dit te voorkomen moet de warmte aangevuld worden.
- Ook zijn er regels over de energiebalans in de ondergrond.
- Voor grootschalige toepassing moet deze grote hoeveelheid warmte ergens vandaan komen.
- Dit kan vanuit verscheidene bronnen:
 - Zonnecollectoren
 - Rest warmte
 - Uit diepere ondergrond (geothermie)
 - Uit (oppervlakte)water (aquathermie)

Schematische weergave aanvoer energie vanuit een warmtebron naar een WKO

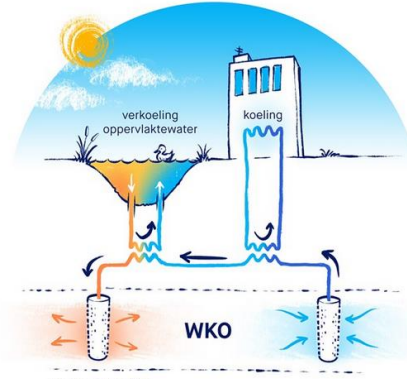


Aquathermie kan de warmte in een WKO regenereren.

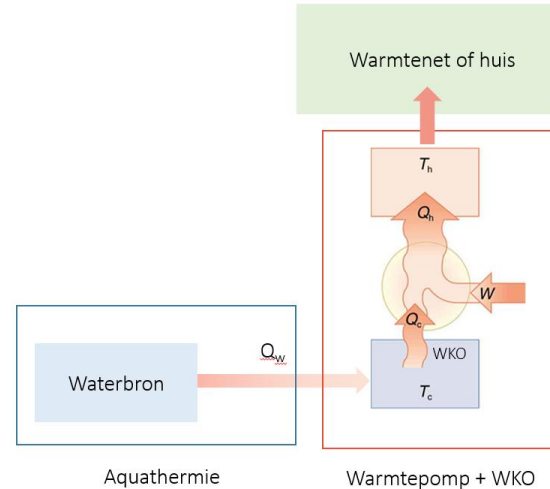
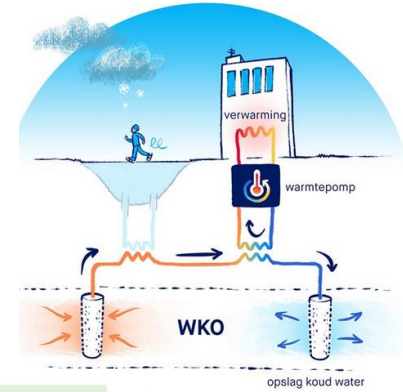
Aquathermie levert warmte aan de WKO.

- Aquathermie is een slimme manier om warmte te leveren aan een WKO. Hierdoor kan een groot deel van de warmtelevering vanuit het water komen.
- Bij TEA wordt er meestal geen WKO gebruikt. De hogere temperatuur van een RWZI wordt direct aan een warmtepomp geleverd.

Warmte winnen en koelen gebouw



Verwarmen gebouw



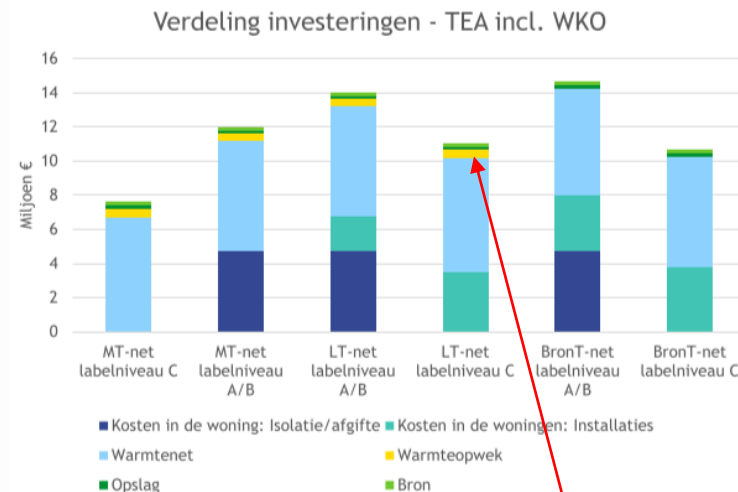
Wat zijn implicaties van het inzicht dat aquathermie meestal de toepassing van warmtepompen is?

(Internationale) literatuur over warmtepompen en warmtenetten kunnen voor aquathermie worden gebruikt.

- Er is een flinke elektriciteitsvraag voor de warmtepompen.
- De uitgebreide literatuur en onderzoeken over de toepassingen van warmtenetten kunnen worden gebruikt voor aquathermie.
- Dit geldt ook andersom, inzichten in de toepassing van aquathermie kunnen breder getrokken worden naar de algemene toepassing van warmtepompen.

Het grootste deel van het systeem is niet de bron, maar het totale net.

VERDELING VAN INVESTERINGEN VOOR DE ZES VRAAGZIJDDECONFIGURATIES VOOR TEA MET WKO



Bron investeringskosten aquathermie.
Note voor waterschappen:
redeneer niet te veel alleen vanuit de bron