NAT Netwerk Aqua Thermie

# Aquathermie in Europa

## Stand van Zaken 2022

13 december 2022

# Colofon

**Uitgave**
Netwerk Aquathermie
Postbus 93219
2509 AE Den Haag

**Auteur(s)**
Rowan Benning, Netwerk Aquathermie

**Contactpersonen**

| | |
|---|---|
| Rowan Benning | Verbinder Praktijk, Netwerk Aquathermie<br>rbenning@aquathermie.nl |
| Netwerk Aquathermie | Algemeen contact<br>info@aquathermie.nl |

Versie: 1
Jaar: december 2022

Disclaimer: Deze uitgave is met de grootst mogelijke zorg samengesteld. Niettemin aanvaarden de auteurs en de uitgever geen enkele aansprakelijkheid voor mogelijke onjuistheden of eventuele gevolgen door toepassing van de inhoud van dit rapport.

# Voorwoord

In drie jaar Netwerk Aquathermie (NAT) is hard gewerkt aan praktijkervaring, kennisontwikkeling en -deling over aquathermie in Nederland. Er zijn goede stappen gezet, maar er valt nog veel te leren en te doen. Uit een eerder verkennend onderzoek binnen het NAT blijkt dat aquathermie ook in andere landen in Europa wordt toegepast. Onze zuiderburen zijn het afgelopen jaar veelvuldig in het nieuws verschenen met aquathermie en van Scandinavië is al langer bekend dat zij goed bezig zijn als het aankomt op duurzame energie.

Met een nieuwe fase van het Netwerk Aquathermie voor de deur en een steeds groter wordende interesse om over de grens te kijken, is het niet meer dan logisch om uitgebreider te kijken naar wat aan de andere kant van de landgrens gebeurt. Het is tijd om eerdere onderzoeken en (afstudeer)studies samen te voegen, projecten te bestuderen en de vraag te stellen: welke lessen kunnen we leren van andere Europese landen op het gebied van aquathermie?

In tegenstelling tot Nederland – waar vanaf de jaren 60 is ingezet op aardgas als bron voor verwarming van woningen – zijn in het buitenland soms andere keuzes gemaakt. Redenen hiervoor zijn het ontbreken van fossiele brandstoffen in de eigen bodem en het voorhanden zijn van andere energiebronnen. Daarbij is door een aantal landen ingezet op andere verwarmingsvormen. Hierdoor is aquathermie als warmtebron in sommige landen populair, nog onbekend of weinig voorkomend.

Het doel van dit onderzoek is niet om volledig te zijn. Gelimiteerd door tijd en in sommige gevallen taal, zou dat praktisch onmogelijk zijn. Op basis van eerder uitgevoerde onderzoeken, de informatie verzameld op internet en input van het NAT-netwerk, kunnen we aannemen dat een groot deel van de informatie, die op dit moment beschikbaar is over aquathermie projecten, in dit rapport verwerkt is. Maar mocht je cruciale informatie of een project missen, stuur ons van vooral een bericht.

Met dank aan mijn collega's van het NAT-team en de mensen in het Netwerk Aquathermie.

Rowan Benning
Verbinder Praktijk van het Netwerk Aquathermie

# Content

Voorwoord ..... 1
Samenvatting ..... 3
Onderzoeksopzet ..... 4
Wat is Aquathermie ..... 5
Aquathermie in Europa ..... 7
1. Noorwegen ..... 7
2. Zweden ..... 9
3. Finland ..... 10
4. Duitsland ..... 12
5. Zwitserland ..... 13
6. Frankrijk ..... 15
7. Monaco ..... 17
Aquathermie in opkomst ..... 18
A. Denemarken ..... 18
B. Verenigd Koninkrijk ..... 19
C. Oostenrijk ..... 21
D. België ..... 21
E. Hongarije ..... 22
Conclusie ..... 24
Bijlage 1. Overzicht totaal aantal projecten ..... 26
Bijlage 2. Overige projecten per land ..... 27
Bibliografie ..... 30

# Samenvatting

Aquathermie is de verzamelterm voor duurzaam verwarmen en koelen met water. Het gaat om thermische energie (warmte en koude) uit oppervlaktewater (TEO), afvalwater (TEA) en drinkwater (TED). In Nederland zien we de interesse in aquathermie snel toenemen. Door heel het land worden projecten verkend en er zijn al meer dan 85 projecten operationeel. Hoe zit dat in andere landen?

In deze inventarisatie willen we leren wat er speelt op het gebied van aquathermie in 12 landen in Europa. De landen zijn opgesplitst in twee groepen, afhankelijk van de mate waarin aquathermie bekend en ontwikkeld is. Elk land heeft een eigen geschiedenis en keuzes over energiesystemen in de gebouwde omgeving (aardgas, warmtenetten, elektrisch) uit het verleden die bepalend zijn voor nieuwe strategieën voor duurzame warmte. Dit heeft dus ook invloed op de mate waarin landen werken aan aquathermie. Andere factoren die een rol spelen zijn de potentie, landschapskenmerken, opzet van de energiemarkt en wet- en regelgeving.

In de Scandinavische landen Noorwegen, Zweden en Finland wordt aquathermie succesvol toegepast, alleen zijn er niet veel projecten gevonden. Deze landen hebben toegang tot andere duurzame bronnen dan Nederland, denk aan waterkracht en biomassa. We zien ook dat aquathermie wordt ingezet voor verwarmen EN koelen. Deze systemen zijn vaak een combinatie tussen TEO en TEA, en ook zeewater uit de fjorden is een veelgebruikte bron. Uitdagingen die gezien worden (in bijvoorbeeld Noorwegen) zijn de hoge investeringskosten in de ontwikkelfase.

Europese landen waar aquathermie relatief veel wordt toegepast zijn Duitsland, Frankrijk, Zwitserland en Monaco. Duitsland heeft veel ervaring met TEA, maar TEO is hier nog relatief nieuw. Daartegenover heeft Frankrijk juist veel ervaring met TEO, vooral op het gebied van zeewater. Zwitserland kent vele aquathermie projecten en loopt daarmee voorop, samen met Nederland. Er zijn verschillende richtlijnen opgesteld rondom aquathermie en men is zich ervan bewust dat er mogelijk ecologische effecten zijn. Het instituut Eawag heeft een kaart gemaakt die laat zien waar alle projecten zich in het land bevinden. Het Vorstendom Monaco gebruik al meer dan 40 jaar warmte uit de zee voor hun gebouwen.

Landen waar aquathermie beperkt voorkomt en in sommige gevallen opkomend is zijn Denemarken, het Verenigd Koninkrijk, België, Oostenrijk en Hongarije, daarom is het moeilijk om hieruit lering te trekken. Dat betekent niet dat er geen kennis beschikbaar is en gedeeld kan worden om kennisleemten op te lossen.

Er zijn vijf conclusies te trekken uit de gevonden informatie:

1. In Europa zijn hoofdzakelijk TEA en TEO projecten, TED komt bijna niet voor
2. De warmtelevering is overwegend midden- of hoog temperatuur
3. Aquathermie word ingezet als enkele bron of in combinatie met andere bronnen
4. Projecten laten zien dat de Coëfficiënt of Performance (COP) zeker wel hoger kan zijn dan 3
5. Een warmte-koudeopslag is niet noodzakelijk voor koelen met aquathermie

De resultaten van deze inventarisatie zullen vertaald worden naar het Engels. Voor verschillende onderwerpen kan het interessant zijn om in Europees verband vervolgonderzoek uit te voeren, kennis uit te wisselen over knelpunten en oplossingsrichtingen. Dit kan bijdragen aan de rol die aquathermie kan spelen in de energietransitie van verschillende landen.

# Onderzoeksopzet

Het doel van dit onderzoek is om inzicht te krijgen in de status van aquathermie in Europa ten opzichte van Nederland. De bijbehorende onderzoeksvraag is als volgt geformuleerd:

Wat gebeurt er in Europa op het gebied van aquathermie,
en wat is relevant voor Nederland om van te leren?

Het is de veronderstelling dat dit onderzoek verschillende partijen kan helpen. Marktpartijen om kennis op te doen over mogelijkheden met betrekking tot markt uitbreiding, bronhouders voor input met betrekking tot regelgeving, gemeenten en overheden over governance en het team van NAT voor input NAT 2.0 en positiebepaling.

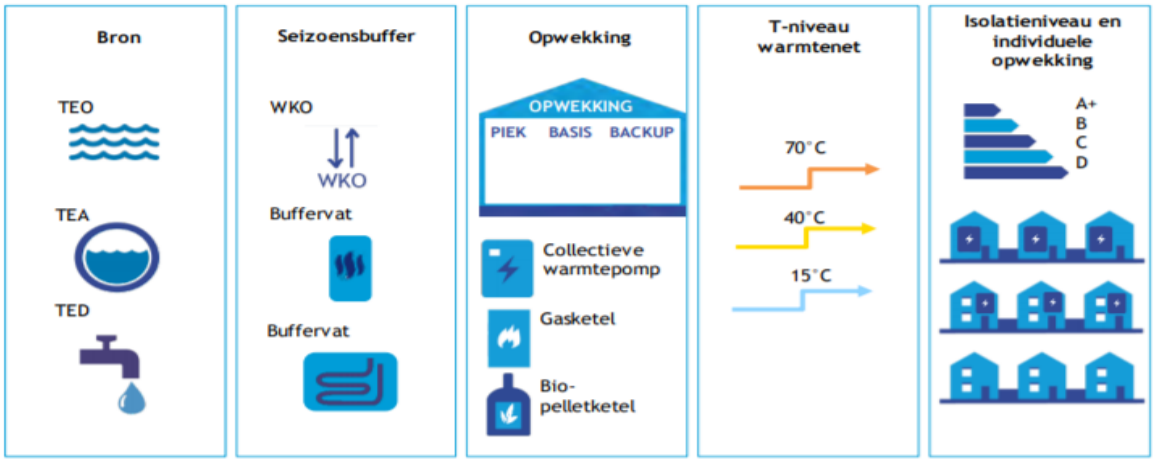
Allereest is een verzameling gemaakt van alle reeds bestaande onderzoeken en informatie over aquathermie in Europa. Vervolgens is desk research uitgevoerd om te identificeren wat voor informatie nog meer beschikbaar is. Daarnaast is contact gezocht met een aantal organisaties van binnen en buiten het NAT-netwerk voor verificatie. Dit alles heeft geleidt tot het voorliggende rapport.

# Wat is Aquathermie

Aquathermie is de verzamelterm voor duurzaam verwarmen en koelen met energie uit water. Het gaat om warmte en koude uit oppervlaktewater (TEO), afvalwater (TEA) en drinkwater (TED). Aquathermie is één van de alternatieven voor duurzame verwarming uit het Klimaatakkoord.

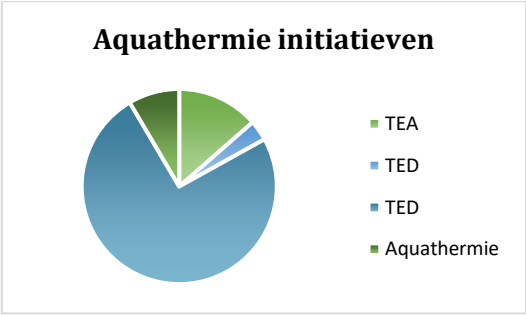
In de keuze voor een aquathermie systeem moeten verschillende overwegingen worden afgewogen. Uiteraard begint het met welke van de drie aquathermie varianten wordt gekozen en hoe het project eruit ziet. Is het warmte levering aan één gebouw of gaat het om meerdere gebouwen die verbonden moeten worden met een warmtenet. En uiteraard is er altijd een warmtepomp nodig.
Ongeachte deze kenmerken, moeten de volgende afwegingen worden gemaakt:

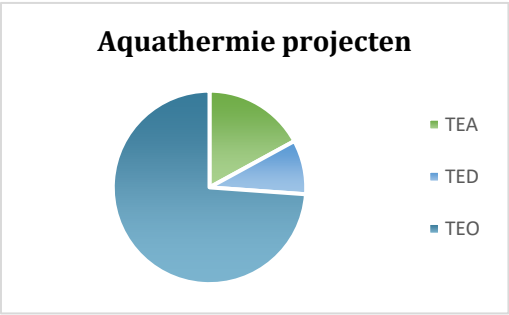
1) Buffer: wel of geen (seizoens)buffer.
2) De leveringstemperatuur. Welke temperatuur gaat geleverd worden: lage temperatuur (LT), midden temperatuur (MT) of hoge temperatuur (HT).
3) Dit hangt natuurlijk samen met de isolatie waarde van het gebouw(en) waar de warmte aan geleverd gaat worden. Hoe beter de isolatie, hoe minder hoge warmtevraag en noodzakelijke leveringstemperatuur.
4) Back-up en piek belasting: is het nodig om bij te stoken en zo ja, op wat voor manier?




*Eigenaar afbeelding: CE Delft en Syntraal*

<u>Aquathermie projecten in Nederland</u>
Bij het Netwerk Aquathermie is een groot aantal aquathermie projecten en initiatieven bekend. TEO is zowel op het gebied van projecten als wat betreft nieuwe initiatieven het populairst, gevolgd door TEA. TED is de hekkensluiter van de drie.




* “Aquathermie” staat voor projecten waarbij (nog) niet bekend is of het om TEO, TEA of TED

Europees inzicht

Heat Roadmap Europe (HRE) is een serie van studies naar duurzame warmte en koude die van 2012 tot 2019 liep en tot meer dan 50 rapporten en datasets heeft geleid. Het project werd gefinancierd door de Europese Commissie. 14 EU lidstaten (waaronder Nederland) zijn onderzocht. Het doel van de laatste editie, Heat Roadmap Europe 4 (HRE4), was het ontwikkelen van strategieën voor duurzame verwarming en koeling. Deze zogenaamde roadmaps zijn ontwikkeld voor het herontwerpen van de sector door de kennis van lokale afvalwarmtecondities en potentiële besparingen te combineren met een analyse van het energiesysteem (Heat Roadmap Europe, 2022).

Een specifieke studie door de Aalborg Universiteit, gebaseerd op resultaten van de HRE, focust zich op de potentie van grootschalige warmtepompen in combinatie met een warmtenet. Deze studie stelt vast dat er zeven bronnen zijn voor warmtepompen, waarvan degene met de meeste potentie en stabiele levering, aquathermisch zijn.

| Type of Heat Source | Temperature | Stability/Security | Proximity to Urban Area |
|---|---|---|---|
| Sewage water | Δ | Δ | Δ |
| Ambient water | – | Δ | Δ |
| Industrial water heat | Δ | □ | – |
| Geothermal water | Δ | Δ | □ |
| Flue gas | Δ | – | – |
| District cooling | □ | – | Δ |
| Solar heat storage | Δ | Δ | – |

Gebaseerd op een afbeelding van de Aalborg Universiteit

Warmte uit afvalwater is het meest betrouwbaar en lokaal beschikbaar, en daarom de meest gebruikte bron voor een warmtepomp in Europa, aldus de studie. Oppervlakte water volgt als tweede goede energiebron; ook een stabiele bron maar niet altijd lokaal aanwezig. De afstand tussen de gebouwde omgeving en de bron is soms te ver weg (Neves & Vad Mathiesen, 2018).

# Aquathermie in Europa

Aquathermie bestaat al langer dan wellicht algemeen gedacht. Eén van de eerste aquathermie projecten was in Zurich, Zwitserland in 1937. Een warmtepomp die warmte gebruikte uit de rivier Limmat om het parlementsgebouw te verwarmen (Zogg, 2008). Andere oude systemen komen uit Scandinavië, waar de eerste warmtepomp sinds 1984 afval- en zeewater gebruikt voor koeling en verwarming van een stadsnet. Het oudste project in Nederland komt uit de zelfde tijd. In 1983 is het Limburgse provinciehuis gebouwd en werd het verwarmd met water uit de Maas (van Geffen, 2012). Helaas functioneerde het systeem niet naar behoren en is in 1985 gekozen voor een gasketel.

In dit hoofdstuk zijn verschillende landen in Europa bestudeerd: wat zijn hun doelstellingen op het gebied van de energietransitie, hoe zit hun huidige energiesysteem in elkaar en welke aquathermie projecten zijn er? Er wordt gestart in het noorden, waarna wordt afgezakt naar het zuiden van Europa.

## 1. Noorwegen

De klimaatambitie van Noorwegen is om in 2030 55% minder broeikasgassen uit te stoten ten op opzichte van 1990 (DVN, 2021). Het beleid gaat ervan uit dat de vervuiler betaalt. Sinds 2017 is het verboden een gasaansluiting te nemen en sinds 2020 is het verboden gebouwen met aardgas te verwarmen. Nu is dat een kleine moeite, omdat het land bijna geen gasinfrastructuur heeft en dus al weinig aardgas gebruikte. Een deel van het Noorse gas wordt gebruikt in de zware industrie, maar het grootste deel aardgas (87% in 2020) wordt geëxporteerd (IEA, 2022). Noorwegen heeft voldoende alternatieve duurzame energiebronnen beschikbaar voor hun eigen energiegebruik. De warmtevoorziening is geëlektrificeerd of kent een warmtenet, dit is voornamelijk in steden. Warmtenetten worden op dit moment hoofdzakelijk gevoed door warmte van afvalverbranding en biomassa (Heat Supplies, 2021). Aquathermie omvat een klein deel van de bronstrategie en is vooral gericht op thermische energie uit afvalwater en zeewater.

**Voorbeelden van aquathermie projecten in Noorwegen**

| | |
|---|---|
| **Naam project/locatie:** | Skøyen Varmesentral, Oslo |
| **Actief sinds** | Onbekend |
| **Bron:** | TEA als onderdeel van energiemix (7,8%) |
| **Levering:** | Warmte |
| **Opbrengst:** | Warmte voor 13.000 appartementen met een gemiddeld energiegebruik van 10.000 KWh per jaar. |
| **Systeem:** | Een warmtenet met twee grote warmtepompen voor verwarming en warm water. 19 miljoen liter afvalwater gaat door het systeem elk jaar. 4ºC a 5ºC warmte wordt onttrokken uit het afvalwater. De warmtepompen brengen de temperatuur naar de gewenste hoge temperatuur (90ºC). |
| **Governance:** | Het Finse bedrijf Fortum en de gemeente Oslo hebben beide 50% eigenaarschap in Fortum Oslo Varme |

(SØRENSEN, 2019)

| | |
|---|---|
| **Naam project/locatie:** | Forum Sandvika, wijk in Oslo |
| **Actief sinds:** | 1989, retrofit in 1993 |
| **Bron:** | TEA |
| **Levering:** | Warmte (56ºC) en koude (18ºC) |
| **Opbrengst:** | 52% van de energievraag (warmte en koude) wordt voldaan met aquathermie |
| **Systeem** | Twee neten: één van 10 km voor warmtelevering en één van 4 km voor koude levering. De gemiddelde afvalwater stroom is 3.000L/s. Er zijn twee |

| | |
|---|---|
| | warmtepompen met capaciteit van 6,5MW voor verwarmen en 4,5MW voor koelen. Voor het water bij de warmtepompen komt, wordt het in twee stappen gefilterd: machinaal en met sedimentatie. Piekmanagement: verwarmingsstation, met drie stookolievaten en een conventionele koeling eenheid. |
| **Governance:** | Energieleverancier: Baerum Fjernvarme AS (onderdeel van Fortum Group) |
| **Overige info:** | Bedrijf installatie: Friotherm.<br>In de winter wordt de warmte ook gebruikt om voetpaden te ontdooien. |

(Friotherm, 2022)

| | |
|---|---|
| **Naam project/locatie:** | Drammen |
| **Actief sinds:** | 2011 |
| **Bron:** | TEO (zeewater), fjord van 8ºC |
| **Levering:** | Warmte |
| **Opbrengst:** | 45MW warmte voor 200 grote gebouwen |
| **Systeem:** | Het water van het fjord wordt gebruikt voor het verwarmen van vloeibaar ammoniak op 4 bar, tot het kookt en verdampt. Door de druk te verhogen naar 50 bar, word het gas verhit tot 120ºC en gebruikt om het water in het systeem te verwarmen van 60ºC naar 90ºC, waarna het weer het systeem in gaat. Na warmteoverdracht aan het systeemwater neemt het ammoniak gas weer een vloeibare vorm aan. |
| **Governance:** | Onbekend |
| **Overige info** | De warmtepomp levert 3kW thermische warmte voor elke 1kW elektriciteit<br>Bedrijf installatie: Star Renewable Energy (Glasgow) |

(Thorpe, This Norwegian city's district heating system uses cold water as source, 2015) (Anderson, 2015)

| | |
|---|---|
| **Naam project/locatie:** | Gemeente Eid |
| **Actief sinds:** | 2006 |
| **Bron:** | TEO (zeewater) |
| **Levering:** | Warmte en koude |
| **Opbrengst:** | Warmte en koeling voor 90.000 $m^2$ gebouwen |
| **Systeem:** | Zeewater wordt naar een warmtewisselaar aan wal gepompt. Hier wordt de warmte van zeewater overgedragen aan een gesloten zoetwatercircuit. Het verwarmde zoetwater wordt vervolgens vanuit de warmtewisselaar naar een warmtecentrale met warmtepompen gepompt. Van deze warmtecentrale wordt het verwarmde water vervolgens gedistribueerd naar de klant. De energie die is opgeslagen in het verwarmde water wordt vervolgens overgebracht naar eindgebruikers via individuele warmtewisselaars, en het afgekoelde water wordt teruggepompt. |
| **Governance:** | Onbekend |
| **Overige informatie** | Fjord van 50 meter diep, temperatuur van water: 8 – 12ºC |

(Idso & Arethun, 2017)

**Wat kunnen we leren van Noorwegen**

Fjorden worden gezien als kansrijke bron. Fjorden zijn diep en de watertemperatuur is relatief constant. Daarnaast vindt natuurlijke verversing van het water plaats door eb en vloed. De ecologische impact lijkt daardoor beperkt.

Projecten in Noorwegen zijn hoofdzakelijk aquathermie systemen met warmtepompen en een MT- of HT-warmtenet. Het beperkte aantal water-thermal energy production systems (WEPS) in Noorwegen komt door hoge initiële investeringskosten. Daarnaast zijn er onvoldoende voorbeeldprojecten waarin ervaring wordt opgedaan met onderhoudskosten en het technisch functioneren van het systeem. Ook ontbreekt een centrale partij die volledige coördinatie van de projectontwikkeling oppakt (Idso en Arthun, 2017).

Bijlage 2 bevat een lijst met andere projecten die tijdens dit onderzoek naar voren zijn gekomen. Er is gekozen om slechts een paar projecten van aquathermie variant in dit hoofdstuk uit te werken. De andere projecten kunt u zelf bestuderen.

## 2. Zweden

Zweden heeft als doel om in 2045 klimaatneutraal te zijn, met als tussendoel 70% reductie van de $CO_2$ uitstoot te opzicht van 2010. Op dit moment komt ongeveer 80% van de Zweedse energie van kernenergie en waterkracht. De grootste duurzame bronnen zijn waterkracht en bio-energie. Dit laatste wordt vooral voor verwarmen gebruikt (Norström, 2020). Omdat andere duurzame energiebronnen beschikbaar zijn in Zweden, wordt aquathermie maar beperkt toegepast.

**Voorbeelden van aquathermie projecten in Zweden**

Stockholm heeft zowel een warmte als een koude systeem dat gebruikt maakt van aquathermie. De onderstaande twee tabellen gaan hier verder op in.

| | |
|---|---|
| **Naam project/locatie:** | Värtan Ropsten, Stockholm |
| **Actief sinds:** | 1984, retrofit in 2003 |
| **Bron:** | TEA en TEO (zeewater) als onderdeel van de energiemix (26%) |
| **Levering:** | Warmte |
| **Opbrengst:** | Capaciteitsvraag totale net (koelen en verwarmen): 100 GWh per jaar |
| **Systeem:** | Totale distributie system: 765 km. Specifiek Värtan Ropsten: zeewater warmtepompen (6x) in totaal 180 MW. |
| **Governance:** | Energiebedrijf Forum is verantwoordelijk voor de warmte/koude productie en geïnstalleerd distributie systemen. |

(Värtan Ropsten, n.d.)

| | |
|---|---|
| **Naam project/locatie:** | Nimrod, Stockholm |
| **Actief sinds:** | 1995, retrofit in 2000 en 2001 |
| **Bron:** | TEO, de Oostzee |
| **Levering:** | Koude |
| **Opbrengst:** | Capaciteitsvraag totale net (koelen en verwarmen): 100 GWh per jaar |
| **Systeem:** | Voor de productie van de koeling in de zomer, werken twee compressoren werken parallel, één met een koelcapaciteit van 7 MW en één met 5 MW. Tijdens lage koeling belasting wordt de capaciteit van beide units teruggebracht tot ca. 20% van vollast, wat resulteert in goede deellastwaarden. In de zomer wordt warmte naar zee afgevoerd water dat door de condensors stroomt. |
| **Governance:** | Energiebedrijf: Fortum, verantwoordelijk voor productie en distributie van warmte en koude. |

(Nimrod, n.d.)

| | |
|---|---|
| **Naam project/locatie:** | Rya Värmepumpverk, Gothenburg |
| **Actief sinds:** | 1985 |
| **Bron:** | TEA, 12ºC (9 ºC warmte wordt onttrokken) |

| | |
|---|---|
| **Levering:** | Warmte (75ºC en 85ºC), retourtemperatuur: 45ºC |
| **Opbrengst:** | Onbekend |
| **Systeem:** | Warmtenet met 4 centrale warmtepompen (totaal 160 MW). Vanwege hun flexibiliteit worden de warmtepompen ingezet tijdens piekbelasting. |
| **Governance:** | Onbekend |
| **Overige info:** | COP warmtepompen: >3. |

(Heat pumps using waste water in Gothenburg, Sweden, 2022)

**Wat kunnen we leren van Zweden**

Ondanks het beperkt aantal aquathermie projecten en onderzoeksrapporten in Zweden, laat het land zien dat aquathermie prima voor verwarmen EN koelen gebruikt kan worden en dat zeewater een geschikte bron kan zijn.

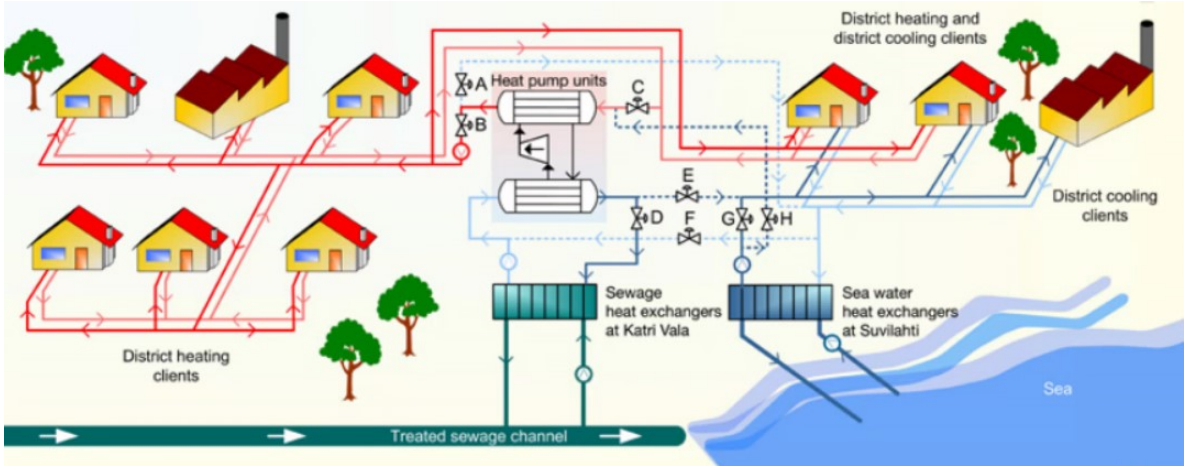
## 3. Finland

In Finland vertegenwoordigen hernieuwbare energiebronnen ongeveer 40% van het energieverbruik. Het doel van de Nationale Energie- en Klimaatstrategie tot 2030 is om het gebruik van hernieuwbare energie te vergroten, zodat het aandeel in het energie eindverbruik stijgt tot meer dan 50 procent. De meest gebruikte hernieuwbare energie in Finland is bio-energie, waterkracht, windenergie en aardwarmte. Bio-energie wordt opgewekt uit biologisch afbreekbaar afval, nevenstromen van landbouw en industriële productie en uit gemeentelijk afval. (Renewable Energy in Finland, 2022)

**Voorbeelden van aquathermie projecten in Finland**

| | |
|---|---|
| **Naam project/locatie:** | Katri Vala, Helsinki |
| **Actief sinds:** | 2006 |
| **Bron:** | TEA en TEO (zeewater) |
| **Levering:** | Warmte en koude |
| **Opbrengst:** | Onbekend |
| **Systeem:** | De vijf warmtepompen van Katri Vala produceren tegelijk warmte van 80ºC en koud water van 4ºC. De pomp staat in rechtstreekse verbinding met de zeewaterpomp 600 meter verderop. In de winter wordt de warmte onttrokken uit rioolwater en koude uit de zee. In de zomer, wanneer de warmtepompen in free-cooling mode staan, wordt naast koude ook warmte geproduceerd. Het warmte overschot wordt geloosd op zee. Met een 10.000m$^3$ koud water opslag wordt beoogd 's nachts energie op te slaan, zodat deze de volgende dag tijdens piekmomenten gebruikt kan worden. |
| **Governance:** | Helsinki Energy is verantwoordelijk voor de productie, distributie en verkoop van warmte. |
| **Overige info:** | 90% van de gebouwen in Helsinki is aangesloten op het stadswarmtenet. Onder de stad liggen kilometers tunnels. Ze bevatten water-, districtverwarmings- en stadskoelingleidingen, elektrische kabels tot 110 kV evenals elektrische en telecommunicatiekabels voor huishoudelijke doeleinden. De tunnels zijn zo groot dat er een auto kan rijden. |

(Helsinki Energy, 2022)




Afbeelding: Versimpelde schematische weergave van Helsinki Energy netwerk.
*Eigenaar afbeelding: Friotherm*

| | |
|---|---|
| **Naam project/locatie:** | Suomenoja, Espoo |
| **Actief sinds:** | 2016: 2 warmtepompen, 2021: 3e warmtepomp toegevoegd |
| **Bron:** | TEA en TEO (zeewater) |
| **Levering:** | Warmte en koude |
| **Opbrengst:** | 340 GWh, jaarlijkse warmte voor ±17.000 huishoudens |
| **Systeem:** | Drie warmtepompen met een gezamenlijke capaciteit van 60 MW, onderdeel van de Suomenoja CHP[1] plant. Dit is een energiecentrale die warmte levert aan een netwerk van 800km. |
| **Governance:** | Fortum, een staatsenergiebedrijf |
| **Overige info:** | Het water dat overblijft na de warmte onttrekking voor TEA wordt gedumpt in de zee via een 8km lange buis. |

(Suomenoja, 2022) (Fortum, 2022)

| | |
|---|---|
| **Naam project/locatie:** | Kakolanmäki, Turku |
| **Actief sinds:** | 2009: 1ste warmtepomp, 2013: 2e warmtepomp toegevoegd |
| **Bron:** | TEA |
| **Levering:** | Warmte (85ºC) en koude |
| **Opbrengst:** | Warmte voor 20.000 huishoudens per jaar, koude 30 GWh per jaar |
| **Systeem:** | Twee warmtepompen van 21 MW, 15.000m$^3$ wateropslag tank. |
| **Governance:** | De stad Turku is eigenaar van Turku Energia Oy, welke verantwoordelijk is voor de warmtepompen. De eigenaren van de RWZI Kakolanmäki zijn de 14 gemeenten en de stad Turku. |
| **Overige info:** | TEA zorgt voor 8% van de warmte voor het stadswarmtenet. Dit is 302GWh per jaar. |

(Turku Energia, 2022) (Turku, 2022)

**Wat kunnen we leren van Finland**

In Finland wordt gebruikt gemaakt van opslag bij aquathermie systemen, zodat beter ingespeeld kan worden op momenten dat het aanbod laag is (bij TEA) of voor piekbalancering. De opslag vindt vaak onder de grond plaats, door grotten/tunnels te maken. Een combinatie van TEO en TEA werkt goed in Finland, mede omdat aquathermie wordt gebruik voor zowel verwarmen als koelen. Daarnaast zijn de warmtenetten erg groot, waardoor één bron niet genoeg is om aan de vraag te kunnen voldoen.

[1] CHP staat voor 'Combined Heat and Power': een warmte-kracht koppeling

De reden voor het toepassen van koudenetten is omdat er een groeiende vraag is van bedrijfsclusters, die hun facilitaire diensten voor hun gebouw willen uitbesteden. Daarnaast worden koudenetten als milieuvriendelijker en kosten efficiënter gezien dan het hebben van losse airco's per gebouw (Helsinki Energy, 2022).

## 4. Duitsland

De "Energiewende" is al bijna een decennium DE energie strategie voor Duitsland. Wat betreft duurzame elektriciteit maakt het land goede voortuitgang, maar op het gebied van duurzame transport en warmte blijven de resultaten achter. In haar energietransitie tot nu toe, heeft Duitsland een hoge mate van zekerheid van de olie-, aardgas- en elektriciteitsvoorziening behouden. Geplande uitfasering van kernenergie en kolen zal de afhankelijkheid van het land van aardgas vergroten, waardoor het steeds belangrijker wordt om de inspanningen voort te zetten om de gasleveringsopties te diversifiëren, onder meer door de invoer van vloeibaar aardgas (Germany Energy Policy Review, 2020).

**Voorbeelden van aquathermie projecten in Duitsland**

| | |
|---|---|
| **Naam project/locatie:** | Singen |
| **Actief sinds:** | 2004 |
| **Bron:** | TEA |
| **Levering:** | Warmte en koude |
| **Opbrengst:** | 240 MWh koeling en 660 MWh warmte |
| **Systeem:** | De warmte uit het afvalwater wordt met een 80 meter lange warmtewisselaar onttrokken uit de rioleringsleidingen. Een elektrisch aangedreven warmtepomp produceert de warmte in de winter en verkoeling in de zomer. De afvalwatertemperatuur is circa 15ºC. De warmtepomp heeft een koelvermogen van 200 kW en een verwarmingsvermogen van 243 kW. |
| **Governance:** | Onbekend |
| **Overige info:** | De COP van het systeem is 3.9. |

(Petersen, 2018)

| | |
|---|---|
| **Naam project/locatie:** | Museum voor Bavaria Geschiedenis, Regensburg |
| **Actief sinds:** | 2018 |
| **Bron:** | TEA |
| **Levering:** | Warmte en koude |
| **Opbrengst:** | Onbekend |
| **Systeem:** | Twee warmtepompen met een verwarming capaciteit van 280 kW en een koeling capaciteit van 500 kW. Er wordt 70 l/s afvalwater onttrokken. |
| **Governance:** | Het bedrijf Huber heeft warmtewisselaar en warmtepompen geleverd. |

(Huber, 2022)

| | |
|---|---|
| **Naam project/locatie:** | Grùne Au, Berlijn |
| **Actief sinds:** | 2018 |
| **Bron:** | TEA |
| **Levering:** | Warmten, 20% van de vraag |
| **Opbrengst:** | 11.400 $m^2$ (113 huizen) |
| **Systeem:** | Het systeem is een combinatie van warmtepomp, warmte- en kracht system en een boiler. De jaarlijkse warmtevraag is 750 MWh. |
| **Governance:** | Onbekend |

(Wastewater heats residential complex in Berlin, 2019)

**Wat kunnen we leren van Duitsland**
In Duitsland is veel aandacht voor en ervaring met TEA, vandaar dat het aantal projecten getoond hier boven ook alleen TEA zijn. Het komt vaak voor dat TEA voor warmte EN koeling wordt gebruikt. Hier bedoelt men mee dat warmte uit het afvalwater wordt onttrokken in de winter en in de zomer warmte uit het gebouw wordt onttrokken en afgegeven wordt aan het afvalwater.

TEO is in opkomst. Onder andere in steden zoals Stuttgart, Mannheim, Berlijn en Rosenheim zijn initiatieven gestart. Deze projecten worden ondersteund door het Living Lab voor de Energietransitie genaamd "Large-scale heat pumps in district heating networks – installation, operation, monitoring and system integration". Het Duitse Federale Ministerie voor Economisch Zaken en Klimaat Actie heeft 21,3 miljoen hiervoor gefinancierd (Rhine Supplies Thermal Energy via New Large-Scale Heat Pump, 2022). Men zegt van het project in Mannheim dat dit de grootste warmtepomp van Europa wordt, met 18 meter lengte en vijf meter hoogte. Door warmte uit de Rijn te onttrekken verwacht men 3.500 huishoudens van warmte te kunnen voorzien en rond 10.000 ton $CO_2$ uitstoot per jaar te besparen. Een project om te blijven volgen! De realisatie staat gepland voor 2023.

## 5. Zwitserland

Het energiesysteem in Zwitserland is één met van de laagste koolstof intensiteit, hoofdzakelijk bestaand uit kernenergie en waterkracht. Tijdens een referendum in 2017 is gestemd om kernenergie uit te faseren, daarom is de Zwitserse energie sector in transitie. De uitdaging hierin is om dezelfde lage koolstof uitstoot en tegelijkertijd hoge leveringszekerheid te behouden Daarnaast zet Zwitserland in op energiebesparing. Echter vereist de nieuw gekozen energie strategie ook openstelling van de Zwitserse elektriciteitsmarkt en volledige integratie in de Europese elektriciteitsmarkt om aan toekomstige energiebehoeften te voldoen. (Switzerland 2018 review, 2018)

Zwitserland verwacht veel aquathermie potentie uit hun diepe meren. Het Zwitserse Instituut voor Aquatic Onderzoek (Eawag) zegt dat de potentie van de grote Zwitserse meren meer dan 60 MW is (Swiss info, 2015). Eawag doet ook onderzoek naar TEA. Het instituut publiceerde bijvoorbeeld in 2009 al een onderzoek naar de verontreiniging van warmtewisselaar bij 28 afvalwater installaties (Wanner, 2009).

**Voorbeelden van aquathermie projecten in Zwitserland**

| | |
|---|---|
| **Naam project/locatie:** | Tösswiese, Neftenbach |
| **Actief sinds:** | < 2006 |
| **Bron:** | TEA |
| **Levering:** | Warmte |
| **Opbrengst:** | Verwarming van 36 appartementen en 12 huizen |
| **Systeem:** | 4ºC a 5ºC warmte wordt onttrokken uit het riool. Deze wordt door de warmtepompen verhoogt naar 30ºC voor verwarming en 68ºC – 70ºC voor warm tap water. |
| **Governance:** | Samenwerking tussen Stadtwerk Winterthur, de gemeente Neftenbach en HGW (woningcorporatie). |

(Stadt Winterthur, 2006)

| | |
|---|---|
| **Naam project/locatie:** | Wintower, Winerthur |
| **Actief sinds:** | Gebouw is van 1966, onbekend wanneer het systeem geplaatst is |
| **Bron:** | TEA |
| **Levering:** | Warmte |
| **Opbrengst:** | 480 kW voor 22,000 m² kantoorruimte |

| | |
|---|---|
| **Systeem:** | Circa 50 l/s afvalwater wordt uit het riool gehaald en voorbehandeld. Twee onderwaterpompen brengen het water naar de twee warmtewisselaars in de kelder van het gebouw. Warmteoverdracht naar het koelmedium vindt plaats in de warmtewisselaars. Het medium wordt verwarmd en voorziet de warmtepomp van de benodigde energie. Op deze manier wordt ongeveer 600 kW voorzien voor het verwarmingssysteem. |
| **Governance:** | Het bedrijf Huber heeft het warmtesysteem geleverd. |
| **Overige info:** | De installatie wordt ook gebruikt voor koeling in de zomer, waarbij tot 600 kW aan warmte van het gebouw wordt onttrokken. Maximaal 840 kW warmte wordt aan het afvalwater in het riool afgegeven. |

(Huber, 2022)

| | |
|---|---|
| **Naam project/locatie:** | GeniLac, Geneve |
| **Actief sinds:** | 2009 |
| **Bron:** | TEO, meer van Geneve |
| **Levering:** | Warmte en koude |
| **Opbrengst:** | Levering aan 50 gebouwen |
| **Systeem:** | Elk gebouw heeft zijn eigen warmtepomp(en), die in verbinding staan met het distributienet. De warmte uit het meer wordt op 45 meter diepte onttrokken. 6.000m$^3$ watert wordt elk uur uit het meer onttrokken. |
| **Governance:** | Project wordt geleid door energiebedrijf Services Industriels de Genève (SIG). Er wordt samen gewerkt met de Federal Roads Office en Swissgrid (het nationale netwerkbedrijf), om de grootschalige bouwwerkzaamheden te vergemakkelijken en voortdurende verkeershinder te voorkomen bij de uitbreiding van het bestaande project. |
| **Overige info:** | In 2018 bleek het systeem zo effectief dat het sindsdien is uitgebreid naar het stadscentrum van Genève en zeven gemeenten. Het is de bedoeling om tegen 2035 meer dan 350 gebouwen op het systeem aan te sluiten. Verwachting is dat dan 6x de hoeveelheid water uit het meer onttrokken zal worden ( 36.000 m$^3$ per uur). Er wordt ook gekeken naar TEA en geothermie om het net verder te verduurzamen. |

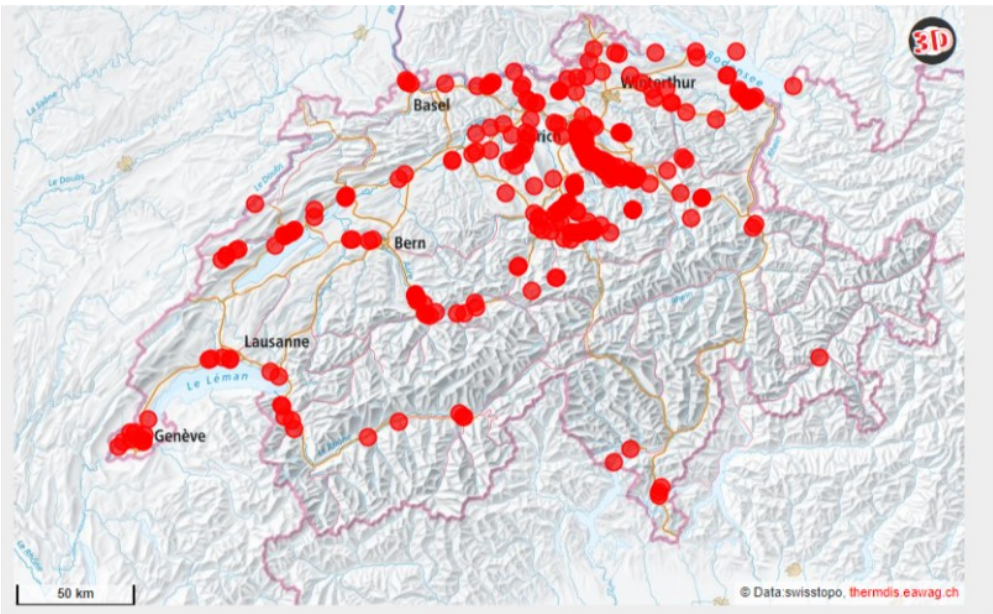
(House of Switzerland, 2021)

**Wat kunnen we leren van Zwitserland**

Zwitserland heeft veel voorbeelden van projecten met zowel TEA als TEO (zie ook bijlage 2). Net als in Scandinavië, lijkt de diepte van de waterbron in het geval van TEO positief te zijn voor de werking en de businesscase van het systeem. Er zijn verschillende richtlijnen opgesteld. Zo heeft het centrale platform van de federale overheid Energieschweiz[2] een gids ontwikkeld voor gemeenten en bouwers gericht op TEA (Heizen und Kühlen mit Abwasser). Het Kanton Zürich heeft richtlijnen voor de planning, de goedkeuring en implementatie van energie systemen op afvalwater (Heizen und Kühlen mit Abwasser, 2010).

[2] Doel: bewustwording, informatie, advies, training en bijscholing, evenals voor kwaliteitsborging op het gebied van energie-efficiëntie en hernieuwbare energiebronnen.

De onderstaande afbeelding is een momentopname uit 2019. De rode stippen geven aan waar thermische systemen met gebruik van meren en rivieren in bedrijf zijn of in de planning waren. De afbeelding is gemaakt door Eawag en laat meer dan 200 projecten zien.




Afbeelding eigenaar: eawag

Ecologie

Zwitserse federale regelgeving inzake de bescherming van watervoorraden zegt dat "het toevoegen of onttrekken van warmte niet mag leiden tot een variatie in de temperatuur van water van meer dan 3ºC in vergelijking met wat het in natuurlijke staat is". In wateren met forel mag het niet meer dan 1,5ºC zijn. Op dit moment is het niet mogelijk om de exacte temperatuurvariatie te kwantificeren die significante veranderingen in de ecologie van meren en rivieren zou kunnen veroorzaken. Het enige dat redelijk zeker lijkt, is dat een stijging of daling van 0,5ºC geen significant effect heeft (Swiss info, 2015).

## 6. Frankrijk

Vele jaren was de $CO_2$ uitstoot van de Franse energieopwekking relatief laag ten opzichte van vergelijkbare landen dankzij het grote aandeel van kernenergie (71%) en waterkracht (10%) (France, 2022). In 2021 lag Frankrijk nog niet op schema om zijn doelstellingen voor energie-efficiëntie, hernieuwbare energie of emissiereducties, die in 2015 zijn overeengekomen, te halen. Er is dus werk aan de winkel voor Frankrijk.

**Voorbeelden van aquathermie projecten in Frankrijk**

| | |
|---|---|
| **Naam project/locatie:** | Parijs |
| **Actief sinds:** | 1991, volledig duurzaam sinds 2013 |
| **Bron:** | TEO, Seine |
| **Levering:** | Koude |
| **Opbrengst:** | Koeling voor 700 gebouwen, zes miljoen $m_2$ gebouwruimte |
| **Systeem:** | Er zijn in ieder geval zeven koel productielocaties en drie koude opslag locaties. Er wordt op twee manieren koeling geproduceerd: 1) luchtkoeltorens; het water van het koelcircuit staat in direct contact met de condensors. 2) koelsysteem met open circuit dat pompt water uit de rivier de Seine. Dit systeem is voorzien van tussenliggende warmtewisselaars die een fysieke scheiding creëren tussen het Seine- |

| | |
|---|---|
| | water en het condensatiecircuit. Een ondergronds koudenet van 140 km transporteerde de koude (tussen 0.5 en 4ºC) naar de ruim 500 klanten. |
| **Governance:** | Climatespace (onderdeel van GDF Suez) exploiteert en ontwikkeld het koudenet namens de stad Parijs. |
| **Overige info:** | Met een nieuw contract is Fraîcheur de Paris de komende 20 jaar verantwoordelijk voor dit project en heeft plannen om het distributie netwerk 3x zo groot te maken. Dit betekent 58 kilometer aan nieuw distributie netwerk, 20 nieuwe productie-installaties en tien nieuwe opslagfaciliteiten, om uiteindelijk ruim 3.000 gebruikers te voorzien van koude.<br>In 2010 was de COP van het project 3,8. |

(Engie, 2022) (Climespace - City of Paris, 2011)

*Omdat het systeem in Parijs continue in ontwikkeling is, is het lastig te identificeren wat de huidige status van het project precies is. Dit komt mede doordat bronnen met informatie niet altijd een datum van publicatie weergeven, waardoor het lastig te bepalen is wat het meest up to date is. De bovenstaande informatie kan worden gezien als een minimum; het huidige project is zeker zo groot, maar wellicht nog wel (veel) groter.*

| | |
|---|---|
| **Naam project/locatie:** | Cherbourg |
| **Actief sinds:** | 2013 |
| **Bron:** | TEO (zeewater) |
| **Levering:** | Warmte |
| **Opbrengst:** | Warmte voor 1.300 huizen |
| **Systeem:** | Twee warmtepompen zorgen voor levering aan het warmtenet. |
| **Governance:** | Systeem ontworpen door EDF Optimal Solutions. |

(EDF, 2015)

**Wat kunnen we leren van Frankrijk**

Frankrijk heeft het grootste duurzame koelingssysteem in Europa, dat onder andere gebruik maakt van aquathermie. Het is een inspirerend voorbeeld van hoe TEO kan worden ingezet voor koeling. De meeste aquathermie projecten in Frankrijk zijn TEO uit zeewater (thalassothermie). Dit laat zien dat ook zonder fjorden, zoals in Scandinavië, zeewater benut kan worden voor duurzame warmte. Verder kent Frankrijk ook een aantal TEA en TEO (zoetwater) projecten. Er was te weinig informatie beschikbaar om in dit hoofdstuk een goede weergave te laten zien en lessen te trekken. Een uitgebreide lijst van de projecten is te vinden in bijlage 2.

*Gebouwen in Frankrijk die TEO (zeewater) gebruiken. Bron: Ecoplage*

## 7. Monaco

Het kleinste land in Europa gebruikt al sinds 1963 het Middellandse Zeewater als energie bron. Het eerste systeem werd geïnstalleerd in het Rainier zwembad, voor het verwarmen van het zwembadwater. Inmiddels zijn er meer dan 80 warmtepompen die ongeveer 20% van de energievraag van Monaco vertegenwoordigen. Het land heeft als doel om klimaatneutraal te zijn in 2050 (Monaconow, 2022). Vanaf 2022 is het verbonden om stookolie te gebruiken voor verwarming en warm water. Om de transitie te ondersteunen voor gebouwen die nog stookolie gebruiken, heeft de regering besloten om twee thermische energielussen op de oceaan te installeren in de districten La Condamine en Larvotto. Deze lussen zullen de betrokken gebouwen voorzien van warmtepompen die warm water, warmte en airconditioning leveren terwijl ze zeer weinig elektriciteit verbruiken (Ocean Thermal Energy, 2022).

# Aquathermie in opkomst

Er is een aantal landen in Europa waar aquathermie nog aan de begin fase staat van bekendheid en ontwikkeling. Dit hoofdstuk gaat verder in op een aantal van deze Europese landen, want ook van hen valt nu al te leren.

## A. Denemarken

Denemarken heeft als doel om in 2030 70% minder broeikasgassen uit te stoten ten op opzichte van 1990 en tenminste de helft van het energieverbruik moet duurzaam zijn. De afgelopen twee decennia is de elektriciteit productie fundamenteel veranderd; de Denen zijn overgegaan van kolen naar elektriciteit van wind en bio-energie. Mede door het flexibele stroomnet, wordt Denemarken wereldwijd gezien als het voorbeeld van het integreren van verschillende vormen van hernieuwbare energie en tegelijkertijd een zeer betrouwbaar elektriciteitsnetwerk behouden. (IEA, 2017) Bij twee-derde van de huizen in Denemarken worden verwarmd met een warmtenet. Op dit moment komt veel warmte van afvalverbranding. In de toekomst wil men naar nog duurzamere warmtevoorzieningen voor de warmtenetten.

**Voorbeelden van aquathermie projecten in Denemarken**

| | |
|---|---|
| **Naam project/locatie:** | Kalundborg |
| **Actief sinds:** | 2017 |
| **Bron:** | TEA |
| **Levering:** | Warmte |
| **Opbrengst:** | Onbekend |
| **Systeem:** | Vermogen warmtepomp: 10 MW. Er zijn 3.196 huishoudens aangesloten op het warmtenet. De warmtepomp zorgt voor 10% van de warmtevraag en wordt ingezet als piek- en reservevoorziening. |
| **Governance:** | Kalundborg Utility is verantwoordelijk voor het leveren van drinkwater voor 6.150 huishoudens met drinkwater en de distribueert stadsverwarming aan ongeveer 5.050 huishoudens in de stad Kalundborg, evenals de behandeling van afvalwater van de hele gemeente Kalundborg. Ze zijn tevens de eigenaar van de warmtepomp die warmte onttrekt van hun afvalwater. |
| **Overige info:** | Tijdens de verbouwing van een energiecentrale (van kolen naar biomassa), zorgden de warmtepomp voor 30% van de totale warmtevraag. Investeringskosten: 7,25 miljoen.<br>COP warmtepomp 3.6 – 4.0 |

(Celsius, 2020) (Niras, 2019)

**Aquathermie initiatieven in Denemarken**

In Denemarken is aquathermie nog opkomend. Er zijn weinig draaiende projecten gevonden. Er zijn wel veel verschillende initiatieven en testprojecten. Er is tussen 2019 een twee jaar durende test gedaan in Kopenhagen met een warmtepompen van 5MW op zee- en afvalwater (State of Green, 2019). In Esbjerg komt de grootste warmtepomp (50MW) op zeewater in de wereld met $CO_2$ als koelmiddel. Hiervoor is gekozen vanwege het kwetsbare milieu van de Waddenzee (Fremtidens Fjernvarme, 2021).

Ook op het gebied van TEA zijn er ontwikkelingen. Deze zomer heeft Aalborg CSP een contract getekend om een 2,5 MW ammoniak warmtepomp aansluiten op een stadsverwarmingssysteem van E.ON Denemarken. Deze duurzame warmte zal worden gebruikt in Frederikssund. Het plan is om ongeveer 7ºC warmte te onttrekken (pv magazine, 2022).

**Wat kunnen we leren van Denemarken**
Men verwacht in Denemarken, net als in andere Scandinavische landen, dat het gebruik van TEA positieve impact zal hebben op het aquatische milieu. Door TEA wordt de temperatuur van het water dat geloosd wordt op zee lager, waardoor deze dichter ligt bij de temperatuur van het water waarin geloosd wordt (pv magazine, 2022).

Denemarken heeft al veel warmtenetten. Dit geeft een voordeel wat betreft de businesscase voor aquathermie: deze kostenpost hoeft niet meer meegenomen te worden. Het hebben van een minimale hoeveelheid afnemers speelt dus een minder grote factor in de haalbaarheid van een project. De investeringen hangen dus volledige samen met de grote van de warmtepomp en de warmtebron (TEO; zeewater of TEA). Een gemiddeld terugverdientijd van 6,5 jaar is verwacht (Foresight, 2019).

Wat betreft de governance van de warmtebedrijven in Denemarken, zijn deze in eigendom van burgers of gemeenten. Denemarken heeft meer dan 340 warmtebedrijven, tegenover vijf grote en enkele kleine in Nederland (Huygen, Beurskens, Menkveld, & Hoogwerf, 2019).

## B. Verenigd Koninkrijk

Volgens de International Energy Agency (2019), heeft het Verenigd Koninkrijk het voortouw genomen in de overgang naar een koolstofarme economie door het nemen van ambitieuze klimaatactie op internationaal en nationaal niveau. Eén van de doelen is 57% $CO_2$ reductie ten opzichte van 1990 in 2032. Het energiesysteem van het land heeft een zeer snelle groei gezien van het aandeel koolstofarme energie, goed voor meer dan 50% van de elektriciteitsmix. In 2017 zag de energiemix er als volgt uit: aardgas (41%), nucleair (21%), wind (15%, een stijging van 3% in 2010), zonne-energie (3%), bio-energie en afval (11%), kolen met 7% (tegen 29% in 2010) en waterkracht (2%). Het Verenigd Koninkrijk heeft zich ertoe verbonden om tegen 2025 alle resterende kolengestookte elektriciteitsopwekking uit te faseren (IEA, 2019).

Engeland
In 2014 heeft de Departement of Energy & Climate Change (DECC) een water-bron-warmte-kaart gepubliceerd. Deze "waterbronwarmtekaart op hoog niveau" toon 40 stedelijke rivieren in Engeland met het grootste potentieel voor het gebruik van waterwarmtepompen voor zowel verwarming als koeling. De kaart identificeert gebieden met een hoge warmtevraag langs rivieren met voldoende stroomsnelheden (Water Source Heat Map, 2022). De kaart is in 2015 verder gedetailleerd.

**Voorbeelden van aquathermie projecten in het Verenigd Koninkrijk**

| | |
|---|---|
| **Naam project/locatie:** | Plas Newydd Country House and Gardens, Wales |
| **Actief sinds:** | 2014 |
| **Bron:** | TEO (zeewater) |
| **Levering:** | Warmte |
| **Opbrengst:** | Onbekend |
| **Systeem:** | Een buis staat in verbinding met het zeewater en de warmtewisselaar. De warmte wordt het door 300kW warmtepomp 30 meter een rotswand omhoog gepompt naar het 300 jaar oude landhuis. |
| **Governance:** | Eigenaar is het National Trust. |
| **Overige info:** | Kosten installatie: £600,000. COP is tussen de 3 en 3.2. |

(National Trust, 2022)

| | |
|---|---|
| **Naam project/locatie:** | Borders College, Galashiels, Schotland |
| **Actief sinds:** | 2015 |
| **Bron:** | TEA |

| | |
|---|---|
| **Levering:** | Warmte |
| **Opbrengst:** | Jaarlijks 1.9 GWh, 95% van de warmtevraag |
| **Systeem:** | Twee warmtepompen met een gezamenlijke capaciteit van 800kW. |
| **Governance:** | Er is een 20 jarige contract tussen de Borders College en SHARC Energy Systems. Onduidelijk wat de rol van Scottic Water wat precies is, de rioleringsdienst in Schotland. |
| **Overige info:** | Allereerste TEA project in de UK. De COP van het project is 4.8. |

(HPT TCP, 2022) (BBC, 2015)

| | |
|---|---|
| **Naam project/locatie:** | Kingston Heights, Londen, Engeland |
| **Actief sinds:** | 2013 |
| **Bron:** | TEO, Thames rivier |
| **Levering:** | Warmte en koude |
| **Opbrengst:** | 137 appartementen en een 145-kamer hotel |
| **Systeem:** | Op twee meter diepte is het water een constante temperatuur van 7ºC. Er zijn twee filters voordat het water bij de warmtewisselaar komt. Vervolgens wordt het 200 meter verderop naar de warmtepomp gebracht, welke de temperatuur naar 45ºC graden verhoogt. De warmtepomp heeft 2.3MW capaciteit. Het koelvermogen is niet bekend. |
| **Governance:** | Onbekend |
| **Overige info:** | Het maximale warmteverschil tussen de bron en het water dat terug de rivier instroomt is 3ºC. Dit is in afspraak met de Environment Agency. Geschatte $CO_2$ besparing is 500 ton per jaar. |

(Kingston Heights, 2020) (Thorpe, Smart Cities Dive, 2017)

**Wat kunnen we leren van het Verenigd Koninkrijk**

Ook in het Verenigd Koninkrijk is aquathermie opkomend. Er zijn maar een paar projecten draaiende op dit moment. Er is en wordt door verschillende universiteiten en andere organisaties onderzoek gedaan naar aquathermie. Zo heeft bijvoorbeeld de regering van Wales 450.000 pond vrijgemaakt voor onderzoek naar de mogelijkheden om de onbruikbaar geraakte kolenmijnen een tweede leven als groene energiebron om huizen te verwarmen. Het onderzoek richt zich op het identificeren van de beste plekken om het water omhoog te halen (Change Inc., 2022).

Een ander voorbeeld is het Home Energy for Tomorrow (HE4T)-project. Dit is een samenwerking tussen London South Bank University en projectleider ICAX Ltd. en wordt ondersteund door Anglian Water en Thames Water, als onderdeel van hun voortdurende energie-innovatiewerk. Het doel van het HE4T-project is om het warmteterugwinningspotentieel in de stedelijke watercyclus te onderzoeken en deze informatie te gebruiken om deze technologie in het Verenigd Koninkrijk te promoten. Er wordt gekeken hoe watersystemen (zowel drink- als afvalwater) kunnen worden aangesloten op de warmtepomp om de efficiëntie te verhogen (waardoor de waterbedrijven energiedragers worden). Daarnaast wordt een innovatieve warmtepomp ontwikkeld en getest door ICAX Ltd. in het laboratorium van LSBU. Thames Water en Anglian Water verzamelen gegevens over de temperatuur en stroomsnelheden van afvalwater op verschillende potentiële locaties in Londen en Midland, om het potentieel voor warmteterugwinning van afvalwater beter in te schatten (He4t project, 2022)

Men ziet aquathermie als een goede mogelijkheid om de warmtevraag te verduurzamen en is druk bezig de potentie verder te verkennen, wetend dat er wereldwijd al verschillende voorbeelden zijn. Het Verenigd Koninkrijk lijkt als enige ander land in Europa, na Nederland, ook naar TED te kijken.

## C. Oostenrijk

Oostenrijk heeft de ambitie om klimaatneutraal te zijn in 2040, 10 jaar eerder dan het doel van de Europese Unie. Tussentijdse doelstellingen zijn het uitfaseren van het gebruik van olie- en gas verwarmingssystemen in 2035, daarnaast mogen nieuw gebouwen vanaf 2025 niet meer worden aangesloten op aardgas. Waterkracht is verantwoordelijk voor 60% van de totale elektriciteit opwerk in 2018. De overheid is van plan om nog 5 TWh aan waterkracht toe te voegen, wat zal leiden tot het einddoel voor 2030 met 27 TWh aan elektriciteit door waterkracht (Austria 2020, 2021). 26% van alle appartementen gebouwen wordt verwarmd met stadsverwarming. Dit is tevens de grootste warmtebron voor commercial- en overheidsgebouwen. De warmte komt van fossiele brandstoffen, biomassa of afvalverbranding (Austria 2020, 2020).

**Voorbeelden van aquathermie projecten in Oostenrijk**

| | |
|---|---|
| **Naam project/locatie:** | Amstetten |
| **Actief sinds:** | 2012 |
| **Bron:** | TEA |
| **Levering:** | Warmte en koude |
| **Opbrengst:** | 230 kW aan warmte |
| **Systeem:** | Warmte word onttrokken uit het rioolwater, dit is tussen de 10ºC en 15ºC. De warmtepomp heeft een warmteafgifte van 228 kW en 186 kW koelcapaciteit. Voor verwarmen wordt de temperatuur naar 45ºC verhoogd. Warmte wordt gedistribueerd via een opslagtank en een lage temperatuur net naar de gebouwen. Gasboilers worden gebruikt als back up bij hoge uitzondering, het systeem kan 99.9% van de tijd in de warmtevraag voorzien. |
| **Governance:** | Project opdracht kwam van Stadtwerke Amstetten in samenwerking met de RWZI. |
| **Overige info:** | De verwachting is dat na 12 jaar het systeem zichzelf heeft terugverdiend. Jaarlijkse $CO_2$ reductie wordt geschat op 55 ton per jaar. |

(Energy from sewage water, 2016) (Stadtwerke Amsetten, 2022)

| | |
|---|---|
| **Naam project/locatie:** | Straubing |
| **Actief sinds:** | 2010 |
| **Bron:** | TEA |
| **Levering:** | Warmte en warm water |
| **Opbrengst:** | Warmte voor 102 appartementen in 11 gebouwen. |
| **Systeem:** | Brontemperatuur is 12ºC, leveringstemperatuur is 45ºC. Er is één centrale warmtepomp van 200 kW. |
| **Governance:** | Onbekend |

(Ecotechnology, 2022)

**Wat kunnen we leren van Oostenrijk**

In tegenstelling tot buurland Zwitserland, lijken in Oostenrijk nog maar weinig aquathermie projecten te zijn. De projecten die in deze inventarisatie zijn gevonden, zijn voornamelijk TEA. Vanwege het gelimiteerd aantal projecten is het niet mogelijk om op dit moment lessen te leren van Oostenrijk op het gebied van aquathermie.

## D. België

Het Belgische Nationale Energie en Klimaatplan (NECP) stelt doelstellingen voor 2030 vast voor een reductie van 35% van de niet-ETS-BKG-emissies te opzichte van 2005. De EU-brede doelstelling voor de reductie van broeikasgasemissies voor 2030 is verhoogd van 40% naar 55%. De huidige doelstellingen van België matchen niet en dienen verhoogd te worden.

België doet het goed op het gebied van duurzame elektriciteit, in 10 jaar tijd is de productie gestegen door zonnepanelen en wind. In 2021 had het land de op zes na hoogste windcapaciteit in de wereld, met plannen voor grote uitbreiding. Op de andere vlakken van de energie transitie zijn er nog grote uitdagingen, omdat een groot deel van de energie nog steeds van fossiele brandstoffen komt (IEA, 2022).

**Voorbeelden van aquathermie projecten in België**
Tijdens deze inventarisatie is één aquathermie project in België naar voren gekomen: de renovatie van het waterzuiveringsstation Brussel-Zuid. Het bijbehorende administratiekantoor wordt vanaf maart 2022 middels TEA verwarmd (HLN, 2022). Helaas is er verder weinig informatie beschikbaar over dit project.

**Aquathermie initiatieven in België**
België kent verschillende onderzoeken en initiatieven op verschillende locaties naar de potentie van aquathermie. Een voorbeeld hiervan is de Vlaamse waterzuiveraar Aquafin. Zij bouwt een nieuw kantoor in Aartselaar. Via een verbinding met het riool, zal hun kantoor voor 400 medewerkers verwarmd en gekoeld worden met TEA. Een warmtepomp zal de onttrokken warmte opwaarderen naar 34ºC à 40ºC, wanneer er behoefte is aan verwarming (GVA, 2022). Andere voorbeelden zijn te vinden in bijlage 2.

**Wat kunnen we leren van België**
Aquathermie is nog in ontwikkeling. Er zijn bijna geen projecten en enkele enthousiaste initiatieven. De kennis die wordt ontwikkeld in Nederland en onze aanpak wordt op de voet gevolgd door ons buurland.

## E. Hongarije

De klimaatambities van Hongarije zijn om in 2050 klimaatneutraal te zijn en heeft dit als één van de eerste landen wereldwijd wettelijk vastgelegd. Andere doelen zijn het uitfaseren van steenkool in 2025 en inzetten op zon-PV te en bestaande kernreactoren. Gezien de grote kwetsbaarheid en afhankelijkheid van Russisch gas, olie en nucleaire brandstof ligt de prioriteit in de energie strategie op energiebesparing, leveringszekerheid en betaalbaarheid. Met de grote afhankelijk van geïmporteerde fossiele brandstoffen, is het belangrijk dat Hongarije gaat diversifiëren naar een breder portfolio van hernieuwbare energiebronnen door gebruik te maken van het aanzienlijke potentieel van haar wind- en geothermische energiebronnen en door de levensduur van bestaande reactoren te verlengen, waar de veiligheid dit toelaat (Hungary 2022, 2022).

**Voorbeeld van een aquathermie project in Hongarije**

| | |
|---|---|
| **Naam project/locatie:** | Militair ziekenhuis, Budapest |
| **Actief sinds:** | 2014 |
| **Bron:** | TEA (10 – 20ºC) |
| **Levering:** | Warmte en koude |
| **Opbrengst:** | Verwarming en koeling aan 40.000m$^2$ gebouw |
| **Systeem:** | Een filtratie unit zorgt voor reiniging van het water voordat het naar de warmtepomp gaat. De warmtepomp heeft een warmtecapaciteit van 3,8 MW en een koelingscapaciteit van 3,3 MW. De warmte en koude wordt door luchtbehandelingskasten geleverd aan het gebouw. Warmte wordt geleverd met een lage temperatuur van maximaal 32ºC. Dagelijks gaat er 11.000m$^3$ water langs het systeem. |
| **Governance:** | Warmtepompleverancier: Thermowatt |

| | |
|---|---|
| **Overige informatie** | Geschatte kosten zijn 2,5 miljoen euro, met een COP tussen de 6,5 en 7,1. De deltaT voor warmte is 32/22 °C en de deltaT voor koude is 6/12 °C. |

(Sewage Budapest, 2020) (Chefdeville, 2022)

**Wat kunnen we leren van Hongarije**

Hongarije kent een aantal TEA projecten (zie bijlage 2), die hoofdzakelijk warmte en/of koude leveren aan één gebouw. Vanwege het gelimiteerd aantal projecten is het niet mogelijk om op dit moment lessen te leren van Hongarije op het gebied van aquathermie.

# Conclusie

In deze inventarisatie is gekeken naar 12 Europese landen waarin aquathermie een rol speelt in het verduurzamen van de warmte- en koudevraag. Er zijn vooral grote projecten naar voren gekomen, van bekende gebouwen of grote warmtenetten. Dit komt omdat over dit soort projecten logischerwijs meer wordt gepubliceerd, waardoor informatie makkelijker online vindbaar is.

Teruggaande naar de onderzoeksvraag: *Wat gebeurt er in Europa op het gebied van aquathermie, en wat is relevant voor Nederland om van te leren?* blijkt er op het gebied van aquathermie genoeg te gebeuren in Europa. Er zijn vele landen waar projecten gerealiseerd zijn en nieuwe initiatieven gestart worden.

Op basis van de bestudeerde projecten, is een aantal conclusies te formuleren:

- Veel TEA en TEO, bijna geen TED

  Het overgrote deel van de projecten zijn TEA, TEO of een combinatie van de twee. De toepassing van TED komt vrijwel niet voor, met uitzondering van Nederland en Verenigd Koninkrijk. De TEO-projecten hebben niet alleen zoetwater bronnen zoals meren en rivieren als bron, maar ook zeewater. Dit is iets wat op dit moment bijna niet in Nederland voorkomt.
- Geen warmtelevering met lage temperaturen

  In Nederland zien we vooral kansen voor aquathermie in combinatie met lage temperatuur warmtenetten. Over de grens is dit een stuk minder het geval. In andere Europese landen vindt opwaardering van warmte vaak plaats tot midden (70 graden) en hoge temperatuur (>80 graden).
- Aquathermie als enkele bron of in combinatie met andere bronnen

  Aquathermie wordt soms ingezet als enkele bron voor warmtenetten maar in meerdere gevallen worden zowel TEO als TEA gebruikt voor het verwarmen en/of koelen van gebouwen. Ook zijn projecten gevonden waarbij aquathermie onderdeel was van de energiemix van een netwerk, bijvoorbeeld in combinatie met geothermie. Het combineren van warmtebronnen vergroot de leveringszekerheid doordat een warmtenet niet meer afhankelijk is van één bron. Een multi bronnenstrategie helpt bij de ontwikkeling van een robuust warmtesysteem.
- COP hoger dan 3

  De meeste aquathermie projecten geven aan dat de COP hoger is dan 3, in sommige gevallen zelf hoger dan 4. Aquathermie is, ook bij de hoge temperatuurregimes, een efficiënte vorm van energie opwek.
- Een WKO is niet noodzakelijk voor koelen met aquathermie

  Aquathermie wordt al op verschillende plekken met succes ingezet voor het koelen van gebouwen. Daarbij blijkt het gebruik van een warmte-koude opslag niet noodzakelijk. Net als in Nederland, is de ondergrond ook in andere Europese landen niet overal geschikt voor WKO, echter laat dit geen beperkingen zien voor de mogelijkheden van koeling met aquathermie.

De inventarisatie laat een gevarieerd beeld zien van hoe aquathermie ingezet kan worden in verschillende omgevingen. We kunnen dus veel leren over andere mogelijkheden en varianten voor de toepassing van aquathermie in Nederland. Daartegenover staat dat Nederland met kennis op het

gebied van TED en lage temperatuur warmtenetten een koplopersrol in kan nemen bij de verduurzaming van de gebouwde omgeving.

Vervolg

Deze inventarisatie schetst een algemeen beeld over aquathermie in Europa voor Nederland en heeft interessante inzichten opgeleverd. Het NAT-bureau is van mening dat deze inzichten ook over de grens meerwaarde kunnen bieden. Om die reden zal dit onderzoek worden vertaald naar het Engels. Dit rapport wordt hierdoor breder toegankelijk en kan gebruikt worden voor kennisuitwisseling met internationale organisaties.

Samen met de Unie van Waterschappen zal via belangenbehartiger EurEau worden verkend welke manieren van samenwerking mogelijk zijn met Europese landen. Op verschillende onderwerpen zijn kennisleemten die op Europees niveau kunnen worden opgelost. Te denken valt aan:

- Ecologische effecten: zowel in Nederland als in Zwitserland wordt erkend dat er gevolgen kunnen zijn voor de ecologie. Een samenwerking op dit gebied zou veel kunnen brengen.
- Governance: Denemarken wordt vaak als voorbeeld genoemd, maar is vanuit keuze in het verleden significant anders dan Nederland. Laten we kijken naar andere landen.
- Multibronnen aanpak voor warmtenetten: in Noorwegen en Finland is aquathermie vaak onderdeel van een mix van energiebronnen die warmte en/of koude leveren aan een warmtenet. Dit gebeurt in Nederland nog niet. Interessant om dit verder te verkennen, bijvoorbeeld wat dit betekent voor de businesscase.

Mochten er andere partijen ideeën hebben naar aanleiding van deze rapportage of willen aansluiten bij het vervolg, stuur dan een email naar info@aquathermie.nl.

# Bijlage 1. Overzicht totaal aantal projecten

De onderstaande tabel geeft weer hoeveel aquathermie projecten en/of initiatieven zijn gevonden gedurende de inventarisatie per land. De tabel is niet bedoeld als totaal overzicht van het aantal aquathermie projecten in een land. Het is waarschijnlijk dat het werkelijke aantal projecten hoger is dan hieronder weergeven.

| Land | TEO | TEA | TEO-TEA combi | Initiatieven | Totaal |
|---|---|---|---|---|---|
| Noorwegen | 5 | 3 | 1 | * | 9 |
| Zweden | 2 | 4 | 2 | * | 8 |
| Finland | - | 1 | - | 2 | 3 |
| Duitsland | - | 5 | - | 7 | 12 |
| Zwitserland | 7 | 5 | - | * | 12 |
| Frankrijk** | 17 | - | - | - | 17 |
| Denemarken | - | 1 | - | 3 | 4 |
| Verenigd Koninkrijk | 2 | 2 | - | 1 | 5 |
| Oostenrijk | - | 3 | - | 1 | 4 |
| België | 1 | - | - | 4 | 5 |
| Hongarije | - | 4 | - | 1 | 5 |
| **Totaal** | **34** | **28** | **3** | **19** | **84** |

* Voor de landen waar veel projecten zijn, is verder niet gezocht naar initiatieven in dat land.
** Het was onduidelijk of dit allemaal gerealiseerde projecten zijn of ook initiatieven

De data uit de tabel wordt in de onderstaande kaart weergegeven.

# Bijlage 2. Overige projecten per land

Hieronder staan per land de projecten die tijdens dit onderzoek naar voren zijn gekomen, maar niet zijn uitgewerkt in het rapport zelf. U kunt deze zelf bestuderen.

**Noorwegen**

- Projecten:
    1. Oslo – Fornebu (TEO, zeewater):
    2. Rolfsbukta (TEO), zeewater
    3. Fredrikstad (TEA)
    4. Bodo NATO (TEO, zeewater)

**Zweden**

- Projecten
    1. Sala (TEO, zeewater)
    2. Vilhelima (TEA)
    3. Malmo (TEA)
    4. Helsingborg (TEA)

**Finland**

- Initiatieven
    1. Salmisaari, Helsinki (TEO, zeewater)
    2. Lathi (TEA)

**Duitsland**

- Pilots
    1. Hasteststraße, Hamburg (TEA), 2009 – 2010
    2. CELSIUS project: Mülheim, Nippes and Wahn (Keulen regio) (TEA), 2012 – 2016
- Initiatieven
    1. Hamburg (TEA)
    2. Mannheim, Stuttgart, Berlijn en Rosenheim (TEO)
    3. Bremen (TEO)
    4. Berlijn (TEA)
- Projecten
    1. Lemgo (TEA)
    2. Witzenhausen (TEA)

**Zwitserland**

- Projecten
    1. Thermal spa Burgerbad at Leukerbad (TEO)
    2. Lausanne (TEO)
    3. Binningen (TEA)
    4. Münchenstein (TEA), bejaardentehuis
    5. St. Gallen (TEA), kantoor

    Één website, meerdere projecten:

    6. Zurich (TEO), kantonnale parlementsgebouw sinds
    7. St Moritz (TEO)
    8. Ticino (TEO), Swiss National Supercomputing Centre
    9. Horw (TEO)

De Eewag heeft een kaart waarop thermische systemen staan die verbonden zijn aan rivieren en meren. Hierop staan een aantal TEO projecten die hierboven niet genoemd zijn.

**Frankrijk**

Vanwege de taalbarrière is het van de onderstaande projecten niet mogelijk te identificeren of het lopende projecten zijn of nieuwe initiatieven.

1. Tours (TEA)
2. Parijs (TEO)
3. Meer van Annecy (TEO)

- Eén website, meerdere projecten/initiatieven
  4. Briarritz (TEO, zeewater)
  5. Brest (TEO, zeewater)
  6. Boulange-sur-Mer (TEO, zeewater
  7. Marseille (TEO zeewater), wijk Smartseille
  8. La Seyne-sur-Mer (TEO, zeewater)
  9. La Grande-Motte (TEO, zeewater)
- Eén website, meerdere projecten/initiatieven:
  10. Roquebrune-Cap-Martin (TEA)
  11. Marseille (TEA), zwembad
- Eén website, meerdere projecten/initiatieven:
  12. Sète (TEO, zeewater)
  13. Leucate (TEO, zeewater)
  14. Dieppe (TEO, zeewater)
  15. Ajaccio (TEO, zeewater)
  16. Duinkerke (TEO, zeewater)
  17. La Rochelle (TEO, zeewater)
  18. Lorient (TEO, zeewater)

**Denemarken**

- Initiatieven
  1. Aarhus (TEO, zeewater)

**Verenigd Koninkrijk**

- Initiatieven
  1. Kingston upon Thames, Engeland (TEA)
- Project
  1. Campbelltown, Scotland (TEA)

**Oostenrijk**

- Pilot
  1. Wenen (TEA)
- Initiatieven
  1. Bregenz (TEO), zwembad en evenementenhal
- Projecten
  1. Weiz-Giesenhof (TEA)

**België**

- Initiatieven
  1. Anzegem (TED)

2. Bedrijventerrein Mechelen-Noord (TEA)
3. Ranst (TEO)

**Hongarije**

- Initiatieven
  1. Budapest (TEO)
- Projecten

  Eén website, meerdere projecten:
  1. MOM Cultuur centrum (TEA)
  2. Budapest Rioolwater Werk (TEA)
  3. Universiteit van Szeged (TEA)

# Bibliografie

(2006, 10 17). Opgehaald van Stadt Winterthur: https://stadt.winterthur.ch/gemeinde/verwaltung/stadtkanzlei/kommunikation-stadt-winterthur/medienmitteilungen-stadtwerk-winterthur/medienmitteilungen/saubere-energie-aus-abwasser?searchterm=Energie+aus+Abwasser

(2015, 12 8). Opgehaald van BBC: https://www.bbc.com/news/uk-scotland-south-scotland-35039456

(2015, 10 7). Opgehaald van Swiss info: https://www.swissinfo.ch/eng/sci-tech/renewable-energy_how-to-get-heat-from-the-bottom-of-a-lake/41700430

(2019, 04 19). Opgehaald van State of Green: https://stateofgreen.com/en/news/wastewater-and-seawater-tested-as-sources-for-copenhagen-district-heating/

(2019, 4 29). Opgehaald van Foresight: https://foresightdk.com/the-path-to-emissions-free-district-heating-in-denmark/

(2021, 1 21). Opgehaald van Fremtidens Fjernvarme: https://fremtidensfjernvarme.dk/da-dk/press-release-the-largest-seawater-heat-pump-in-denmark-is-to-be-delivered-from-switzerland

(2021, 10 6). Opgehaald van House of Switzerland: https://houseofswitzerland.org/swissstories/environment/water-lake-geneva-used-heat-and-cool-buildings

(2022, 09 28). Opgehaald van Fortum: https://www.fortum.com/about-us/our-company/our-energy-production/our-power-plants/suomenoja-chp-plant

(2022, 09 28). Opgehaald van Turku: https://www.turku.fi/sites/default/files/atoms/files/circular_turku_-_case_study_3.pdf

(2022, 08 29). Opgehaald van pv magazine: https://www.pv-magazine.com/2022/08/29/ammonia-heat-pump-for-wastewater/

(2022, 3 18). Opgehaald van HLN: https://www.hln.be/brussel/waterzuiveringsstation-brussel-zuid-steekt-in-een-nieuw-jasje~a96ab7eb/

(2022, 4 7). Opgehaald van GVA: https://www.gva.be/cnt/dmf20220407_96410972

(2022, 10 5). Opgehaald van National Trust: https://www.nationaltrust.org.uk/features/plas-newydd-mansion

(2022, 10 5). Opgehaald van HPT TCP: https://heatpumpingtechnologies.org/annex47/wp-content/uploads/sites/54/2019/07/borders-college.pdf

(2022, 7 15). Opgehaald van Change Inc.: https://www.change.inc/energie/wales-wil-huizen-verwarmen-met-mijnwater-38643

(2022, 3 14). Opgehaald van Engie: https://www.engie.com/en/business-case/engie-x-fraicheur-de-paris

(2022, 10 14). Opgehaald van Heat Roadmap Europe: https://heatroadmap.eu/guidelines-for-policy-makers-to-facilitate-the-integration-of-low-temperature-renewables-in-district-energy-systems/

(2022, 10). Opgehaald van Huber: https://www.huber.de/huber-report/ablage-berichte/energy-from-wastewater/three-huber-projects-for-wastewater-heat-recovery-in-switzerland.html

(2022, 10). Opgehaald van Ecotechnology: https://www.ecotechnology.at/en/content/heizen-und-warmwassergewinnung-mittels-energie-aus-abwasser

(2022, 10). Opgehaald van Huber: https://www.huber.de/huber-report/ablage-berichte/energy-from-wastewater/huber-se-supplies-thermwinr-system-for-heating-and-cooling-with-wastewater-at-a-museum.html

(2022, 11). Opgehaald van Monaconow: https://monaconow.com/monaco-a-pionneer-in-seawater-heat-pumps/

Anderson, R. (2015, Maart 10). Opgehaald van BBC: https://www.bbc.com/news/business-31506073

(2020). *Austria 2020.* IEA.

*Austria 2020*. (2021, 10 21). Opgehaald van IEA: https://www.iea.org/reports/austria-2020

Celsius. (2020, 1 16). *Waste water as heat source in Kalundborg, Denmark.* Opgehaald van Celsius: https://celsiuscity.eu/waste-water-as-heat-source-in-kalundborg-denmark/

Chefdeville, C. (2022, 11). Opgehaald van http://media.celsiuscity.eu/2017/02/2-Christian-C-wastewater-heat-recovery-Session-1B-DHC-Days.pdf

*Climespace - City of Paris*. (2011, 3). Opgehaald van https://www.districtenergyaward.org/wp-content/uploads/2012/10/District_Cooling_France_Paris_2011.pdf

DVN. (2021). Energy Transition Norway 2021. Noorwegen. Opgehaald van https://www.norskindustri.no/siteassets/dokumenter/rapporter-og-brosjyrer/energy-transition-norway-2021.pdf

*EDF*. (2015, 11 16). Opgehaald van https://www.plateformesolutionsclimat.org/solution/leau-de-mer-pour-des-pompes-a-chaleur/

*Energy from sewage water*. (2016). Opgehaald van Energy Innovation Austrai: https://www.energy-innovation-austria.at/article/energy-from-sewage-water/?lang=en

(2018). *Energy Policies of IEA COuntries: Switzerland 2018 review.* IEA.

*France*. (2022, 10 24). Opgehaald van IEA: https://www.iea.org/reports/france-2021/executive-summary

Friotherm. (2022). *Heating and cooling with energy from waste water*. Opgehaald van Friotherm: https://www.friotherm.com/wp-content/uploads/2017/11/sandvika_e005_uk.pdf

(2020). *Germany Energy Policy Review.* IEA.

*He4t project*. (2022, 10 13). Opgehaald van LSBU: https://www.lsbu.ac.uk/stories/he4t-project

*Heat pumps using waste water in Gothenburg, Sweden*. (2022, januari 6). Opgehaald van Celsius: https://celsiuscity.eu/heat-pumps-using-waste-water-in-gothenburg-sweden/

*Heat Supplies*. (2021, 02 26). Opgehaald van Energie Facts Norway: https://energifaktanorge.no/en/norsk-energiforsyning/varmeforsyning/

(sd). *Heizen und Kühlen mit Abwasser.* Bern: energieschweiz.

(2010). *Heizen und Kühlen mit Abwasser.* Zürich: Baudirection Kanton Zürich.

*Helsinki Energy*. (2022, 09 22). Opgehaald van Friotherm: https://www.friotherm.com/wp-content/uploads/2017/11/katri_vala_e012_uk.pdf

*Hungary 2022*. (2022, 09). Opgehaald van IEA: https://www.iea.org/news/hungary-s-clean-energy-transition-is-the-key-to-reach-energy-independence

Huygen, A., Beurskens, L., Menkveld, M., & Hoogwerf, L. (2019). *Wat kunnen we in NEderland leren van warmtenetten in Denemarken?* ECN part of TNO.

Idso, J., & Arethun, T. (2017, Augstus 18). Water-Thermal Energy Production System: A case study from Norway.

IEA. (2017). *Energy Policies of IEA Countries: Denmark 2017 Review.* Opgehaald van IEA: https://www.iea.org/reports/energy-policies-of-iea-countries-denmark-2017-review

IEA. (2019). *United Kingdom 2019 review.* Opgehaald van IEA: https://iea.blob.core.windows.net/assets/298930c2-4e7c-436e-9ad0-2fb8f1cce2c6/Energy_Policies_of_IEA_Countries_United_Kingdom_2019_Review.pdf

IEA. (2022). *Belgium 2022 Energy Policy Review.* Opgehaald van IEA: https://iea.blob.core.windows.net/assets/638cb377-ca57-4c16-847d-ea4d96218d35/Belgium2022_EnergyPolicyReview.pdf

IEA. (2022). *Norway 2022 - Energy Policy Review.* Opgehaald van https://iea.blob.core.windows.net/assets/de28c6a6-8240-41d9-9082-a5dd65d9f3eb/NORWAY2022.pdf

*Italy*. (2022, 10 24). Opgehaald van IEA: https://www.iea.org/reports/energy-policies-of-iea-countries-italy-2016-review

*Kingston Heights.* (2020, 10 7). Opgehaald van HPT: https://heatpumpingtechnologies.org/annex47/wp-content/uploads/sites/54/2019/07/kingston-heights.pdf

Neves, J., & Vad Mathiesen, B. (2018). *Heat Roadmap Europe: Potentials for large-scale Heat Pumps in District Heating.* Denemarken: Aalborg University.

*Nimrod*. (sd). Opgehaald van Friotherm: https://www.friotherm.com/wp-content/uploads/2017/11/nimrod_e009_uk.pdf

Niras. (2019, 09 19). *Project Waste water turned into district heating.* Opgehaald van Niras: https://www.niras.com/projects/waste-water-turned-into-district-heating/

Norström, J. (2020, 03 20). *Country series: Sweden global leader in reducing climate impact*. Opgehaald van Statkraft: https://www.statkraft.com/newsroom/news-and-stories/archive/2020/country-series-sweden-global-leader-in-reducing-climate-impact/

*Ocean Thermal Energy*. (2022, 11). Opgehaald van Gouvernement Princier: https://energy-transition.gouv.mc/Renewable-energy-in-Monaco/Ocean-thermal-energy-the-Principality-s-blue-gold

Oppenheim, M. (2017, Juli 2). Opgehaald van Independent: https://www.independent.co.uk/news/world/europe/norway-ban-oil-use-heating-2020-a7819571.html

Petersen, A. B. (2018). *Handbook: 25 cases of urban waste heat recovery.* Denmark. Opgehaald van https://www.reuseheat.eu/wp-content/uploads/2018/03/6.1-Other-experiences-25-case-studies.pdf

*Renewable Energy in Finland*. (2022, september 16). Opgehaald van Ministery of Economic Affairs and Employment of Finland: https://tem.fi/en/renewable-energy

*Rhine Supplies Thermal Energy via New Large-Scale Heat Pump*. (2022, 4 5). Opgehaald van Energie Wende Bauen: https://www.energiewendebauen.de/en/news/rhine_supplies_thermal_energy

*Sewage Budapest*. (2020, 1). Opgehaald van Celsiuscity: https://celsiuscity.eu/sewage-budapest/

SØRENSEN, M. (2019, oktober 16). *Bringing you heat that's been extracted from your sewage*. Opgehaald van klimaoslo: https://www.klimaoslo.no/2019/10/16/district-heating-from-sewage/

*Stadtwerke Amsetten*. (2022, 10 25). Opgehaald van Ochsner energietechnik: https://ochsner-energietechnik.com/portfolio-item/stadtwerke-amstetten/

*Suomenoja*. (2022, 09 28). Opgehaald van Friotherm: https://www.friotherm.com/wp-content/uploads/2017/11/E10-15_Suomenoja.pdf

(2018). *Switzerland 2018 review.* IEA.

Thorpe, D. (2015, april 9). *This Norwegian city's district heating system uses cold water as source*. Opgehaald van weforum: https://www.weforum.org/agenda/2015/04/the-town-that-heats-itself-with-cold-water/

Thorpe, D. (2017). Opgehaald van Smart Cities Dive: https://www.smartcitiesdive.com/ex/sustainablecitiescollective/could-free-heat-water-bodies-help-heat-our-towns-and-cities/238426/

*Turku Energia*. (2022, 09 28). Opgehaald van Frioterhm: https://www.friotherm.com/wp-content/uploads/2017/11/E11-15_Turku-Energia.pdf

van Geffen, J. (2012). *Maas verwarmt driekwart van Provinciehuis*. Opgehaald van https://josvg.home.xs4all.nl/pgs/warmtepomp/index.html

*Värtan Ropsten*. (sd). Opgehaald van Friotherm: https://www.friotherm.com/wp-content/uploads/2017/11/vaertan_e008_uk.pdf

Wanner, O. (2009). Opgehaald van Eawag: https://www.eawag.ch/fileadmin/Domain1/Beratung/Beratung_Wissenstransfer/Publ_Praxis/Factsheets/schriftenreihe_19.pdf

*Wastewater heats residential complex in Berlin*. (2019, 03 14). Opgehaald van Vattenfall: https://group.vattenfall.com/press-and-media/newsroom/2019/wastewater-heats-residential-complex-in-berlin

*Water Source Heat Map*. (2022, 10 7). Opgehaald van ICAX: https://www.icax.co.uk/Water_Source_Heat_Map.html

Zogg, M. (2008). *History of Heat Pumps.* Oberburg: Swiss Federal Office of Energy. Opgehaald van https://www.osti.gov/etdeweb/servlets/purl/21381633