



Dekker Groep

Aquathermie uit diepe plassen

Een studie naar de kansen van energiewinning uit diepe plassen

Dekker Groep
Nienke Braas & Carmen Hazeu
10-6-2020

Aquathermie uit diepe plassen

Een studie naar de kansen van energiewinning uit diepe plassen

Status: Definitief
Plaats en datum: 10 juni 2020, IJzendoorn

Opdrachtgever: Dekker Groep
Waalbanddijk 1, IJzendoorn

Auteurs: Nienke Braas
Carmen J.M. Hazeu

Contactgegevens: E: nienkebraas@hotmail.com & N.Braas@dekkergroep.nl
T: +31 638113491

E: carmen.hazeu@hvhl.nl & C.Hazeu@dekkergroep.nl
T: +31 683544110

Interne begeleider: Gert Jan van der Veen
Docent Landschapsecologie, Hogeschool Van Hall Larenstein

Externe begeleiders: Paul Hospers & Pieter Mantel
Dekker Groep

Afbeeldingen gebruikt in dit rapport voor de titelpagina, voorwoord, inhoudsopgave en hoofdstukinleiding zijn afkomstig van Dekker en eigen gemaakte foto's (Dekker Groep, sd; Hazeu, 2020).



Voorwoord

Voor u ligt de scriptie 'Aquathermie uit diepe plassen', een onderzoek naar de randvoorwaarden voor thermische energiesystemen waarbij diepe plassen als energiebron worden gebruikt. Het onderzoek is uitgevoerd in opdracht van de Dekker Groep en fungeert als afstudeeronderzoek voor de opleiding Land- en Watermanagement aan Hogeschool Van Hall Larenstein.

Wij hebben voor dit onderzoek gekozen omdat we beide veel passie hebben voor het creëren van een duurzame leefomgeving en oplossingen zoeken om klimaatverandering tegen te gaan. Deze opdracht gaf ons de mogelijkheid om de kennis vanuit Land- en Watermanagement te gebruiken voor een duurzaam energiesysteem. We hebben hierbij veel nieuwe dingen geleerd op het gebied van diepe plassen, thermische energie en samenwerking met de omgeving. Hiernaast was de samenwerking met de collega's bij Dekker erg prettig en was het leuk om de positieve reacties op ons onderzoek te horen.

Allereerst willen wij onze dank uitbrengen aan Paul Hospers en Pieter Mantel, onze begeleiders vanuit Dekker, voor de enthousiaste en motiverende (proces)begeleiding en de ondersteuning tijdens dit afstudeertraject. Eveneens willen we Gert Jan van der Veen danken voor zijn kritische feedback op onze conceptrapporten en de procesbegeleiding.

Daarnaast willen we graag de volgende mensen bedanken voor de tijd en professionele vakinhoudelijke informatie die ze voor het onderzoek voorzien hebben;

Bob Bloemers (Duurzaam opgewekt),
Kees de Vries & Martin Brink (Blauwvinger Energie)
Arne Wijnia & Frank Niewold (IF technology),
Raymond van Bulderen (Vattenfall),
Tim Idema & Raymond Frank (Gemeente Zwolle),
Ivo Pothof (Deltares),
Bjorn Prudon (Waterschap Rivierenland),
Timo Veen (TiMove),
Maarten Ouboter (Waternet),
Peter van den Berg (Gemeente Neder-Betuwe),
Ilse Sijtsema (Ondernemersvereniging Hessenpoort).

Tot slot willen wij onze dank uitbrengen aan alle collega's van Dekker. Ondanks de coronacrisis hebben zij ervoor gezorgd dat we bij het bedrijf betrokken bleven en ons van alle nodige informatie voorzien.

Wij wensen u veel leesplezier,

Nienke Braas
Carmen Hazeu



Samenvatting

Vanuit de huidige maatschappij is veel vraag naar duurzame energie. Bij de energietransitie gaat het om zowel elektriciteit als warmte, waarbij de grootste opgave momenteel ligt bij de warmtevraag van de bebouwde omgeving. Dekker ziet mogelijkheden om hier aan bij te dragen via de winning van warmte- en koude-energie uit diepe plassen die achterblijven na de grondstofwinning en gebiedsontwikkeling. Deze duurzame manier van energieopwekking kan als aanvullende maatschappelijke meerwaarde dienen voor de energietransitie en een meerwaarde zijn voor het gebied. Dit onderzoek dient als advies voor Dekker over de mogelijkheden van energiewinning uit diepe plassen. De onderzoeksvraag luidt: *Aan welke voorwaarden moeten diepe plassen en hun omgeving voldoen om geschikt te zijn voor de toepassing van een TEO-systeem?*

Voor deze studie zijn de techniek, omgevingsaspecten en kosten en baten in kaart gebracht. Bij de winning van Thermische Energie uit Oppervlaktewater (TEO) kan onderscheid gemaakt worden tussen directe winning en winning in combinatie met opslag. De meest gebruikte vorm van opslag is een Warmte en Koude Opslag (WKO). Het is gebleken dat er weinig onderzoek is gedaan naar de invloed van het systeem op de omgeving. Omgekeerd is er wel meer bekend over de invloed van omgevingsaspecten op TEO. De meeste plassen van Dekker liggen buitendijks. Hier komen obstakels in het water voor, waterstandsverschillen en meestromen met hoogwater kan optreden. Het is gebleken dat de kosten en baten van een TEO-systeem zeer afnemer-afhankelijk zijn. De afstand tot en de dichtheid van de afnemers zijn de belangrijkste aspecten voor de financiële haalbaarheid.

Deze studie levert de volgende voorwaarden op, waar een diep plas zo veel mogelijk aan moet voldoen om potentie te hebben voor een TEO-systeem;

- Voor koude: minimaal 18 meter diep en minimaal volume onder deze grens $1 \cdot 10^6 \text{ m}^3$;
- Voor warmte: minimaal volume $1 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ in bovenste vier meter;
- Voor verhoging capaciteit van warmte en koude is verbinding met andere wateren gewenst;
- Afstand tot bedrijven en utiliteitsgebouwen: maximaal 2500 meter;
- Afstand tot woningen: maximaal 2000 meter;
- Minimale vraagdichtheid: 1000 GJ/ha/jaar;
- Mogelijkheid tot WKO-installatie binnen één kilometer van de plas;
- Bij voorkeur binnendijkse plaatsing van TEO-installatie.

Na toetsing van de plassen van Dekker aan deze voorwaarden zijn de Bomhofspas (Zwolle) en Willemspolder fase 1 (IJendoorn) als meest kansrijke naar voren gekomen. Voor deze plassen zijn het warmte- en koude potentieel bepaald, de omgevingsaspecten in kaart gebracht en is een inschatting gemaakt van de vraag van de potentiële afnemers. Potentiële afnemers bij de Willemspolder zijn IJendoorn en de bedrijven Fruitmasters, Ojah en Fruity Line in Ochten. Bedrijventerrein Hessenpoort is de meest kansrijke afnemer bij de Bomhofspas. Bij deze uitwerking zijn een aantal aandachtspunten voor de criteria naar voren gekomen:

- Ligging: buitendijks mogelijk indien nabijheid van hoogwatervrij terrein;
- Energievraag: moet meer gespecificeerd worden om haalbaarheid in kaart te brengen;
- Ecologie: nader onderzoek nodig om mee te nemen in het afwegingskader.

Het is de verwachting dat in de toekomst de techniek zal verbeteren en de koudevraag zal toenemen, waardoor de haalbaarheid van het TEO-systeem toeneemt.

Uit het onderzoek kan geconcludeerd worden dat het toepassen van een TEO-systeem bij diepe plassen van Dekker technische mogelijk is. Echter is nog nader onderzoek nodig naar de werkelijke energievraag en de effecten op en van de hydrologie en ecologie op de duurzaamheid van het systeem.

Inhoud

1	Inleiding.....	6
1.1	Achtergrond.....	7
1.2	Aanleiding.....	7
1.3	Probleem- en doelstelling	8
1.4	Definitie en afbakening	8
1.5	Onderzoeksvragen.....	9
1.6	Methodiek	9
1.7	Resultaten.....	10
1.8	Leeswijzer	10
2	TEO-systeem.....	11
2.1	Systeembeschrijving.....	12
2.2	Techniekbeschrijving	13
2.3	Potentieel winbare energie	14
3	Omgevingsaspecten uit diepe plassen	16
3.1	Hydrologische aspecten	17
3.2	Ecologische aspecten.....	20
3.3	Overige omgevingsaspecten	21
4	Financiële haalbaarheid.....	22
4.1	Afstand & dichtheid afnemers	23
4.2	Kosten.....	23
4.3	Opbrengsten.....	25
4.4	Haalbaarheid TEO	26
5	Afwegingskader	27
5.1	Voorwaarden.....	28
5.2	Weging.....	30
5.3	Scoretabel.....	31
6	Vervolgstappen TEO	32
6.1	Pilots	33
6.2	Aanpassingen afwegingskader	38
6.3	Ontwerpinvloed op realisatie TEO-systeem.....	39
7	Conclusie, discussie & aanbevelingen	41
7.1	Conclusie	42
7.2	Discussie	44
7.3	Aanbevelingen.....	44
	Begrippenlijst.....	46

Bibliografie	48
--------------------	----

Voor de bijlagen is een apart bijlagenrapport opgesteld, genaamd: Bijlagenrapport; Aquathermie uit diepe plassen.



1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt het onderzoek ingeleid met een kijk op de maatschappelijke meerwaarde van aquathermie voor de samenleving. Daarnaast wordt de probleemstelling vanuit Dekker die tot het onderzoek heeft geleid besproken, met de bijbehorende onderzoeksvragen waarop dit onderzoek is opgezet. Hieruit volgend worden de gebruikte methoden en de resultaten toegelicht.



1.1 Achtergrond

Vanuit het IPCC is aangegeven dat de gemiddelde temperatuur op aarde stijgt en het klimaat verandert (KNMI, 2013). Deze temperatuurstijging wordt veroorzaakt door de CO₂-uitstoot bij gebruik van fossiele brandstoffen voor energieopwekking (IPCC, 2014). Vanuit de huidige maatschappij wordt hierdoor steeds meer gevraagd om duurzame energie, met zo min mogelijk CO₂-uitstoot. Dit wordt veelal gezien als een bijdrage aan het voorkomen van een verdere toename van klimaatverandering. Deze vraag wordt in Nederland voornamelijk ingevuld door middel van wind- en zonne-energie, zoals aangegeven in het Klimaatakkoord (Rijksoverheid, 2019). Voor deze systemen is er geen continue aanvoer van wind of zon, waardoor pieken en dalen in de energievoorziening ontstaan en het distributiesysteem overbelast kan raken. Hierom wordt steeds meer gekeken naar andere vormen van duurzame energie (Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, sd; Milieu Centraal, sd)

Bij de energietransitie ligt de uitdaging bij zowel elektriciteit als warmte-energie. Vanuit STOWA is aangegeven dat de grootste opgave momenteel ligt bij de warmtevraag van de bebouwde omgeving, met 38% van het energiegebruik in Nederland (Nationaal Expertisecentrum Warmte, 2013). Eén van de alternatieven is warmtewinning vanuit thermische energie van oppervlaktewater. Uit onderzoek van IF Technology blijkt dat thermische energie uit oppervlaktewater (TEO) de potentie heeft om in 40% van de warmtevraag en 54% van de koudevraag in Nederland te voorzien (Kruit, Schepers, Roosjen, & Boderie, 2018; CE Delft, sd; Kruit, Schepers, Roosjen, & Boderie, 2018).

De Dekker Groep, hierna Dekker, is een grondstofwinningsbedrijf dat graag een bijdrage levert aan deze maatschappelijke vraag naar duurzame ontwikkelingen. Dekker is actief in de gehele keten van grondstofwinning, van initiatief tot uitvoeringsfase, en werkt voornamelijk aan riviergebonden projecten. Het motto van het bedrijf is “Met delfstofwinning maatschappelijke doelen mogelijk maken”, waarbij doelen zoals hoogwaterveiligheid, natuurontwikkeling, recreatie en duurzame energie mogelijk worden gemaakt door grondstofwinning (figuur 1). Vanuit de gedachtegang van Maatschappelijk Verantwoord Ondernemen (MVO) wordt geïnvesteerd in landschapsontwikkeling en verduurzaming van het bedrijf door energiebesparing en elektrificering van het wagenpark en van de machines benodigd voor grondstofwinning. Om groene energie op te wekken wordt momenteel op het project Bomhofsplas (Zwolle) van Dekker het grootste drijvende zonnepark van Europa aangelegd, met 18,75 hectare aan zonnepanelen (Dekker Groep, 2020; RTV Oost, 2020).



Figuur 1 Maatschappelijke doelen (Dekker Groep, sd)

1.2 Aanleiding

Een manier van duurzame energie opwekken waar Dekker potentie in ziet, is winning van warmte- en koude-energie uit diepe plassen die achterblijven na grondstofwinning. Voor Dekker zou deze warmte- en koude-energie een aanvullend verdienmodel kunnen zijn voor de realisatie en exploitatie van grondstofwinning. Deze energie kan verkocht worden aan bewoners en bedrijven rond de plassen. De mogelijkheden van Dekker voor het op een duurzame wijze aanleveren van warmte- en koude-energie kan als aanvullende maatschappelijke meerwaarde dienen. Dekker ziet daarom een nieuwe kans bij het gebruiken van deze duurzame energie vanuit diepe plassen.

1.3 Probleem- en doelstelling

De kennis over de toepassing van deze vorm van energie door diepe plassen is momenteel beperkt en nog weinig TEO-projecten zijn uitgevoerd. Hierdoor is het ingewikkeld om de haalbaarheid van energiewinning uit diepe plassen te achterhalen. Om de haalbaarheid te onderzoeken dienen voorwaarden te worden opgesteld waarbij rekening wordt gehouden met de huidige functies van de diepe plas. Deze worden momenteel voor oppervlaktewater op verschillende plekken onderzocht, maar vanuit Dekker is daar nog weinig inzicht in. Verder is nog niet duidelijk of de huidige winplassen van Dekker mogelijk geschikt zijn. Als laatste zou Dekker graag bij toekomstige projecten vooraf kunnen sturen op deze voorwaarden, waar momenteel nog geen richtlijnen voor zijn.

Het doel van dit onderzoek is het in beeld brengen van de randvoorwaarden voor het toepassen van aquathermie in diepe plassen. Op deze manier wordt onderzocht of het mogelijk is om TEO-projecten uit te voeren voor de plassen van Dekker. Het rapport bevat hiervoor een analyse van de hydrologie, ecologie en financiële aspecten van het TEO-systeem en de diepe plassen. Hierbij gaat het om de eindsituatie die gecreëerd wordt na de grondstofwinning.

1.4 Definitie en afbakening

Diepe plassen

Verreweg de meeste diepe watersystemen in Nederland zijn plassen. Deze zijn vaak door de mens gegraven voor de winning van delfstoffen, zoals zand, grind en klei. In dit rapport wordt enkel gekeken naar de diepe plassen ontstaan door grondstofwinning in het bezit van Dekker.

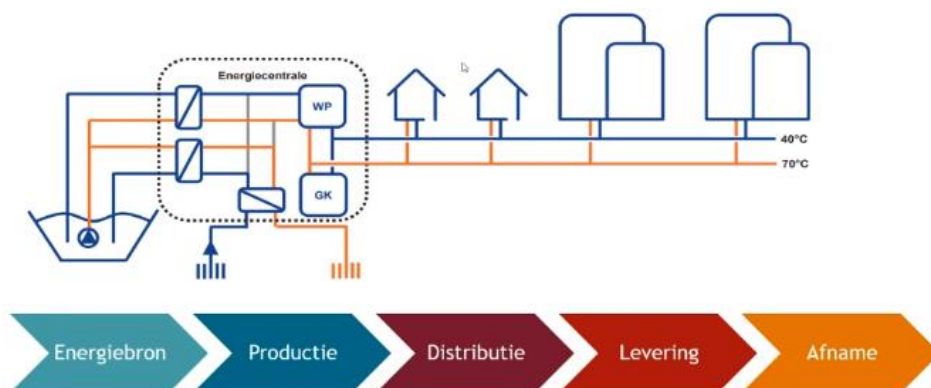
Onder diepe plassen vallen watersystemen die een gelaagdheid in de waterkolom vertonen gedurende de zomer, waarbij water met een lage dichtheid drijft op water met een hogere dichtheid. Dit vindt bij plassen met een oppervlak vanaf enkele hectares al vanaf vier tot zes meter diepte plaats. In dit rapport wordt ingegaan op de hydrologie, ecologie en financiële aspecten van het eindontwerp voor de diepe plassen (Osté, Jaarsma, & Van Oosterhout, 2010).

Afbakening

De techniek die nodig is voor het TEO-systeem in combinatie met mogelijke opslagmethodes zal kort beschreven worden. Hiervoor zijn alleen bestaande systemen onderzocht. In figuur 2 zijn de verschillende stappen weergegeven. Dit onderzoek gaat in op de eerste twee stappen van de keten van aquathermie, energiebron en productie, met een beknopte financiële vooruitblik naar de distributie, levering en afname.

Hiernaast is het de wens vanuit Dekker om voor de omgeving een maatschappelijke meerwaarde te creëren door middel van het TEO-systeem. Hierbij wordt gericht op een systeem geschikt voor een wijk of dorp met een minimum van 200 aangesloten woningen, om voldoende meerwaarde te geven aan de bebouwde omgeving.

De ecologie en hydrologie van diepe plassen zijn enkel onderzocht voor het projectgebied van de plassen in het bezit van Dekker.



Figuur 2 Keten van aquathermie (Wijnia & Schuitemaker, 2020)

1.5 Onderzoeksvragen

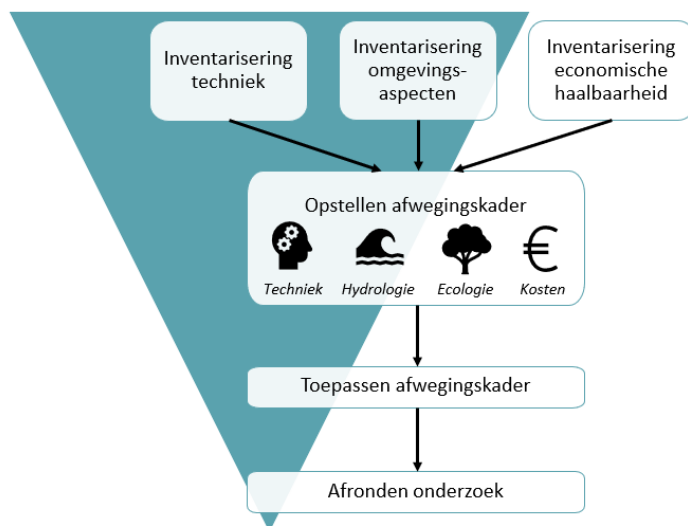
Hoofdvraag: “Aan welke voorwaarden moeten diepe plassen en hun omgeving voldoen om geschikt te zijn voor de toepassing van een TEO-systeem?”

Deelvragen:

1. Wat zijn mogelijke technieken voor de winning en opslag van warmte- en koude-energie vanuit oppervlaktewater?
2. Welke hydrologische en ecologische omgevingsaspecten van diepe plassen hebben invloed op of worden beïnvloed door de warmte- en koudewinning?
3. Hoe worden de kosten en baten van een TEO-systeem beïnvloed door de locatie?
4. Welke voorwaarden zijn van belang voor de afweging van de diepe plassen van Dekker voor een mogelijk TEO-systeem?
5. Welke voorwaarden en aandachtspunten komen naar voren na een verdere uitwerking van twee potentiële TEO-locaties?

1.6 Methodiek

Voorliggend onderzoek is kwalitatief, dynamisch en deels interpretatief. De achtergrondinformatie en -berekeningen zijn weergegeven in het bijlagenrapport. Figuur 3 illustreert de verschillende stappen van dit onderzoek.



Figuur 3 Stappen in het onderzoek

Theoretisch kader

In het theoretisch kader is informatie behandeld over het TEO-systeem, de omgevingsaspecten voor hydrologie en ecologie en de huidige financiële en wettelijke kaders. Deze informatie is verkregen middels literatuurstudie en verschillende interviews met experts en betrokken partijen. De conclusies die getrokken zijn uit de interviews kunnen bij andere partijen verschillen doordat ze anders tegen een dergelijk systeem aankijken. Voor de literatuurstudie zijn onder andere de volgende gerenommeerde bronnen geraadpleegd;

- STOWA;
- Waternet;
- IF Technology;
- CE Delft;
- Deltares;
- Unie van Waterschappen.

Naast de uitgevoerde literatuurstudie zijn veldbezoeken gebracht aan verschillende diepe plassen in het bezit van Dekker. Door de Coronacrisis heeft geen bezoek plaatsgevonden aan een uitgevoerd TEO-project. Wel is een interview afgenomen met Vattenfall, de eigenaar van het enige koudewinning TEO-systeem in een diepe plas in Nederland.

Afwegingskader

Het afwegingskader is gericht op het berekenen van het potentieel van de diepe plassen in eigendom van Dekker. Het afwegingskader is opgesteld uit de voorwaarden die uit het theoretisch kader naar voren zijn gekomen. Voor de uitwerking van de scoretabel zijn verschillende Exceltabellen en GIS-bestanden gebruikt. Hieruit zijn grenswaarden voor afstanden, dichtheid van warmtevraag en energie potentieel gehaald. De informatie voor de Exceltabellen en GIS-bestanden is afkomstig van interne informatie van Dekker, het Nationaal Georegister en de GIS-database van Hogeschool Van Hall Larenstein. De weging van de voorwaarden is bepaald na interviews met Deltares, IF Technology en Duurzaam Opgewekt. De locaties met de berekende score, ofwel berekende potentie, staan aangegeven in de scoretabel (tabel 9).

Pilot

In de pilotstudie is de opgedane kennis uit het theoretisch kader toegepast op de gekozen gebieden van het afwegingskader. De twee locaties met de hoogste score zijn hier verder uitgewerkt. Voor de geselecteerde locaties zijn opnieuw interviews gehouden, ditmaal met de verschillende betreffende gemeenten, energiecoöperatie Blauwvinger en projectleiders van Dekker. Hieruit is gespecificeerde informatie voor de warmtevraag naar voren gekomen, benodigd voor de financiële haalbaarheid. Voor de hydrologische en ecologische omgevingsaspecten zijn de beoogde eindsituaties van de diepe plassen gebruikt. Interne informatie van Dekker uit GIS-bestanden, MER-onderzoek en de plannen voor de eindsituatie zijn als bron gebruikt. Uit de pilotstudie kan worden opgemaakt of het afwegingskader voldoende aspecten bevat voor een keuze tussen de plassen, of dat deze nog wordt uitgebreid. Daarnaast geeft het de vervolgstappen benodigd voor de uitvoering van een TEO-project.

1.7 Resultaten

Het eindresultaat geeft voorwaarden waarop de potentie van diepe plassen voor het TEO-systeem kan worden gemeten. Voorliggend onderzoeksrapport bevat een lijst met potentie voor de diepe plassen van Dekker, welke te gebruiken zijn om de potentie van TEO-projecten voor toekomstige en huidige projectlocaties verder tot uitvoering te brengen.

1.8 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 bevat een omschrijving van het TEO-systeem benodigd voor de energiewinning uit oppervlaktewater. Hierin worden de onderdelen en diverse toepassingsmogelijkheden uitgelegd en de berekening van de energiewinning toegelicht.

Het derde hoofdstuk beschrijft de bekende omgevingsaspecten en de effecten van het TEO-systeem op de omgeving. Hierin worden hydrologie en ecologie extra uitgelicht.

Hoofdstuk 4 licht de verschillende onderdelen voor de financiële haalbaarheid van een TEO-systeem toe. Hierbij zijn kosten, opbrengsten en subsidies meegenomen.

Het afwegingskader, volgend uit de voorgaande hoofdstukken, is toegelicht in hoofdstuk 5. Het is toegespitst op onveranderbare onderdelen van diepe plassen en financiële haalbaarheid.

Hoofdstuk 6 bevat de vervolgstap op het afwegingskader door middel van twee pilotstudies.

Hoofdstuk 7 bevat de conclusies, discussie en aanbevelingen volgend uit het onderzoek. Hier wordt onder andere antwoord gegeven op de hoofd- en deelvragen.

Voor de bijlagen is een apart bijlagenrapport opgesteld: Bijlagenrapport; Aquathermie uit diepe plassen. In het hoofdrapport wordt naar deze bijlagen verwezen voor achtergrondinformatie en berekeningen.

2 TEO-systeem

Voor de winning van thermische energie uit oppervlaktewater is een specifiek systeem benodigd. Om inzicht te krijgen in de mogelijkheden van winning en de technische voorwaarden die hieruit voortkomen is literatuuronderzoek uitgevoerd en zijn interviews gehouden met IF Technology, Duurzaam Opgewekt, Vattenfall & Deltares. Dit hoofdstuk geeft antwoord op de vraag; Wat zijn mogelijke technieken voor de winning en opslag van warmte- en koude-energie vanuit oppervlaktewater?



2.1 Systeembeschrijving

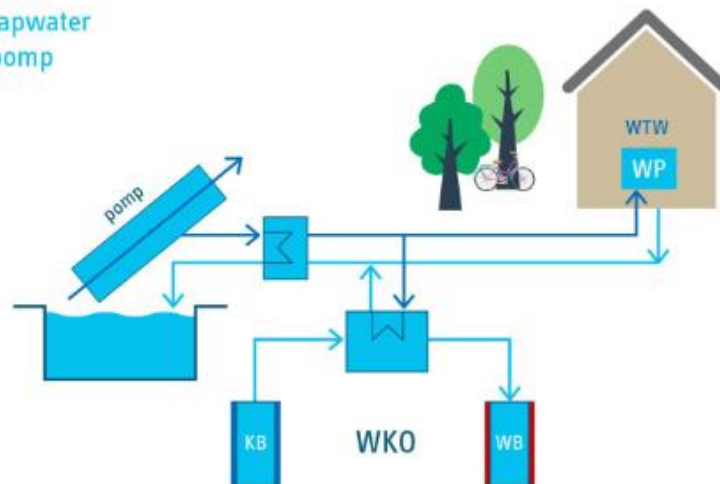
Thermische energie uit oppervlaktewater (TEO) maakt gebruik van warmte- en koude-energie uit oppervlaktewater om de gebouwde omgeving te voorzien van warmte- en koude-energie. Dit heeft warmte nodig voor ruimteverwarming en tapwater. Behoeftte aan tapwater, bijvoorbeeld voor douchen, is het hele jaar aanwezig. Ruimteverwarming is met name in de lente-, herfst- en wintermaanden nodig (ROM3D & Inenergie, sd).

In de zomer wordt warmte gewonnen bij een watertemperatuur van 15-25°C. Dit wordt opgeslagen, waarbij voornamelijk gebruik wordt gemaakt van een Warmte- Koudeopslag (WKO) (Netwerk Aquathermie, sd). Koude wordt momenteel voornamelijk in de winter gewonnen, wanneer het oppervlaktewater tussen de 4-8°C is. Aan de hand van een warmtepomp wordt bij warmte-energiewinning de temperatuur opgewaardeerd en middels een distributienet en afgiftesysteem afgeleverd bij gebruikers (Scholten, Kruit, Van de Water, Nieuwenhuijse, & Wiolders, 2019).

De meest voorkomende onderdelen van een TEO-systeem zijn (Kruit, Schepers, Roosjen, & Boderie, 2018):

- Oppervlaktewater;
- Pompinstallatie en warmtewisselaar
- Vorm van opslag (in figuur 4, WKO);
- Warmtepomp ((de)centraal);
- Distributienet (voor typen distributienetwerken, zie bijlage II.2);
- Afgiftesysteem bij gebruikers.

KB=koudebron
 WB=warmtebron
 WTW=warmtapwater
 WP=warmtepomp



Figuur 4 Warmtewinning uit oppervlaktewater met WKO (ROM3D & Inenergie, sd)

Doordat er sprake is van lage temperaturen, zal warmte worden opgewaardeerd naar een temperatuurniveau van 40-70°C. Dit is geschikt voor de verwarming van de bebouwde omgeving en tapwater (Scholten, Kruit, Van de Water, Nieuwenhuijse, & Wiolders, 2019).

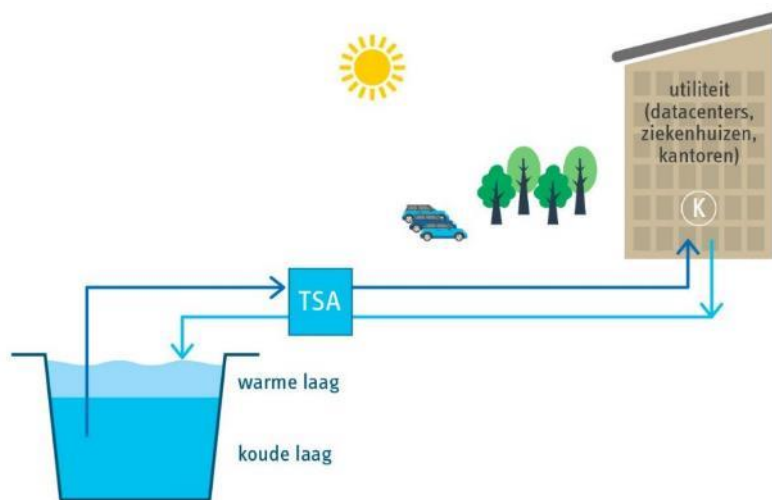
In dit onderzoek zullen het distributienet en het afgiftesysteem niet verder worden meegenomen, aangezien deze niet verschillen ten opzichte van andere duurzame energievormen zoals geothermie.

2.2 Techniekbeschrijving

Warmte- en koude-energie worden uit oppervlaktewater onttrokken aan de hand van warmtewisselaars. Toch zijn er nog een aantal varianten waarbij wel of niet gebruik wordt gemaakt van een pompinstallatie, opslag en warmtepompen (zie bijlage II.1 voor een uitgebreide omschrijving van de verschillende varianten). De grootte van de technische ruimte die hiervoor nodig is, zal hierdoor verschillen en kan inclusief centrale warmtepomp oplopen tot 100 m² (Wijnia & Schuitemaker, 2020).

1. Directe winning zonder warmtepomp (bijlage II.1.1)

Deze vorm verschilt met de beschrijving uit paragraaf 2.1 doordat er geen gebruik wordt gemaakt van een opslag en warmtepomp (figuur 5). Dit kan alleen worden toegepast bij koudewinning uit een bron die gedurende de zomermaanden ook koude-energie kan bieden, zoals diepe plassen (Gelderman & Scholten, 2017).



Figuur 5 Koude uit diepe plassen (TSA = warmtewisselaar) (ROM3D & Inenergie, sd)

2. Directe winning met warmtepomp (bijlage II.1.2)

In de lente en herfst bezitten plassen voldoende warmte dat gewonnen kan worden. Opslag is niet nodig door aanwezigheid van een warmtevraag tijdens deze seizoenen. Wel moet de warmte meer opgewaardeerd worden dan zomers, wat meer geld kost. In de zomer kan deze vorm van winning in beperkte mate plaatsvinden doordat warmte nodig is voor het tapwater (Niewold, 2018).

3. Winning in combinatie met opslag (bijlage II.1.3)

Deze vorm is hetzelfde als de beschrijving uit paragraaf 2.1. In gerealiseerde projecten wordt veelal gebruik gemaakt van een WKO als opslag. Er zijn ook andere vormen, namelijk opslag in water (Ecovat) en opslag in chemie/zout (Kruit, Schepers, Roosjen, & Boderie, 2018). Voor een beschrijving van de opslagstechnieken zie bijlage II.3.

4. Smart polder (bijlage II.1.4)

Deze vorm gebruikt aanwezige kunstwerken, zoals gemalen en stuwen. Een pompinstallatie is hierbij overbodig door de aanwezigheid van pompen en verval. Door de aanwezigheid van kunstwerken is er een scheiding tussen onttrekking en lozing. Hierdoor kan er geen mening optreden van het te winning en geloosde water, oftewel geen kans op thermische kortsluiting (Gelderman & Scholten, 2017; Kleiweg & De Co, 2018).

2.3 Potentieel winbare energie

De potentieel winbare energie is voor koudewinning anders te berekenen dan voor warmtewinning. Dit komt doordat de winning plaatsvindt uit verschillende waterdieptes, waar verschillende invloeden op van toepassing zijn. Deze berekeningen geven aan of de diepe plas als bron voldoende energie kan leveren voor de vraag vanuit afnemers. Toelichting voor de invloeden op de watertemperatuur en de berekeningen zijn te vinden in bijlage III (Scholten, Kruit, Van de Water, Nieuwenhuijse, & Wiolders, 2019).

Koudewinning

De berekening voor koudewinning is afhankelijk van volume en onttrokken warmteverschil, zie tabel 1. Het heeft geen andere invloeden van warmte- en koude-energie doordat de bodem en stratificatie werken als isolerende schil. De formule die hieruit volgt is;

$$V * \rho_w * c_w * \Delta T = \text{potentiële koude energie}$$

Tabel 1 Onderdelen formule koudewinning

Symbol	Betekenis	Eenheid
V	Volume van het water kouder dan 8°C	m ³
ΔT	Temperatuurverandering als gevolg van de warmte uitwisseling	°C
ρ _w	Dichtheid van het water	Kg/m ³
c _w	Soortelijke warmte van het water	J/kg*°C

Het is niet bekend wat de gevolgen zijn als het volledige koude-volume gebruikt wordt. Mogelijk moet een deel van het volume in de plas gelaten worden, om de stratificatie in stand te houden (Niewold, 2018).

Warmtewinning

Bij potentiële warmte-energie moet rekening worden gehouden met de invloeden vanuit de atmosfeer. Het warmste water bevindt zich bovenin de plas, doordat dit de kleinste dichtheid heeft. Aanvulling van warmte gebeurt voornamelijk door zonlicht. Als vuistregel wordt aangehouden dat er 15 MJ/m²/dag zonne-energie instraalt, in de 100-dagen-periode dat geoogst wordt (half mei tot half september). Hiermee kan de werkelijke afkoeling van de plas onder invloed van warmte-onttrekking worden berekend. Wanneer een plas een continue aan- en afvoer heeft van oppervlaktewater zal ook dit de potentiële warmte-energie verhogen (Netwerk Aquathermie, sd; Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut, sd).

Toevoer van warmte en de maximale afkoeling van 6°C (ΔT), in overleg met de waterbeheerder, van het wateroppervlak vormen samen het totaal van de aanwezige warmte-energie (Koninklijk Nederlands Waternetwerk, 2015; Netwerk Aquathermie, sd). Dit staat gelijk aan de warmte-energie dat onttrokken kan worden.

De formule die hieruit volgt is;

$$E_{in} + (V * \Delta T * \rho_w * c_w) \geq E_{uit}$$

$$E_{in} = 15 \text{ MJ/m}^2/\text{dag} * A * 100 \text{ dagen}$$

$$E_{uit} = Q * \rho_w * c_w * \Delta T = \text{potentiële warmte energie}$$

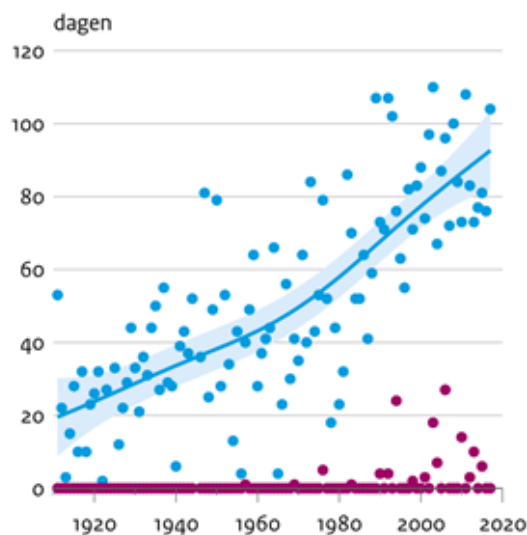
Tabel 2 Onderdelen formule warmtewinning

Symbool	Betekenis	Eenheid
V	Volume van het water kouder dan 8°C	m ³
ΔT	Temperatuurverandering als gevolg van de warmte uitwisseling	°C
ρ _w	Dichtheid van het water	Kg/m ³
c _w	Soortelijke warmte van het water	J/kg*°C
A	Wateroppervlak	m ²
Q	Onttrekking oppervlaktewater voor energie	m ³

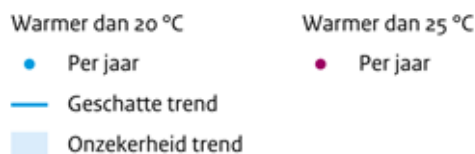
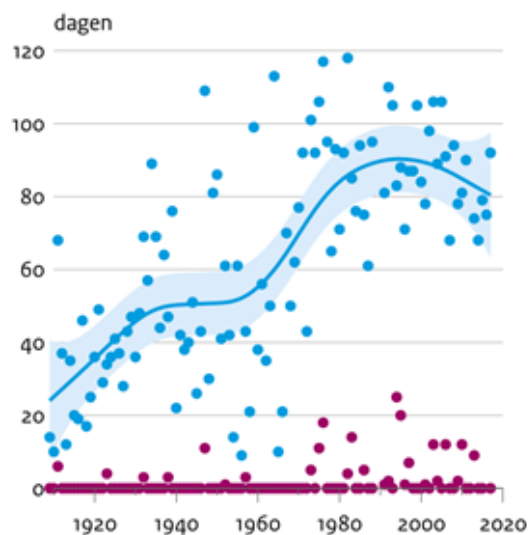
In deze formule, zie tabel 2, is de aanvoer van warmte door aan- en afvoer van water niet meegenomen. Aangenomen is dat de aanvoer van extra oppervlaktewater vanuit grote rivieren de potentiële warmte-energie vergroot in de 100 dagen periode door de hoge gemiddelde temperatuur van het Rijnwater bij Lobith (CBS, PBL, RIVM, WUR, 2018), zie figuur 6. Door deze hoge temperatuur zal nieuw 'warmte-energierijk' water in de plas komen, waardoor het energie-potentieel voor warmte toeneemt. De getallen in de grafiek en de weergegeven trendlijn zijn nader toegelicht in bijlage IV.

Belangrijk aandachtspunt is het verschil tussen de resultaten van Aquaviewer STOWA (STOWA, 2020) en bovenstaande berekeningen. Mogelijke redenen zijn een gebrek aan informatie en mogelijkheid tot modelleren, toegelicht in bijlage III.3.

Rijn bij Lobith



Maas bij Eijsden en Borgharen



Figuur 6 Aantal dagen met hoge watertemperatuur Rijn en Maas (CBS, PBL, RIVM, WUR, 2018)

3 Omgevingsaspecten uit diepe plassen

De variatie van hydrologische aspecten van diepe plassen kan effect hebben op de efficiëntie van het TEO-systeem. Andersom is het directe effect van de onttrekking van thermische energie een mogelijke verandering in temperatuur van het oppervlaktewater. Deze verandering kan een indirect effect hebben op het ecosysteem van de diepe plassen. Dit is onderzocht door middel van contact met Waternet en Vattenfall. Verder is literatuuronderzoek gedaan naar de ecologie van diepe plassen en de invloed van TEO op ondiepe wateren van STOWA. De temperatuurverandering van het oppervlaktewater wordt eerst behandeld, waarna ingegaan wordt op de overige effecten. De deelvraag die wordt beantwoord is; Welke hydrologische en ecologische omgevingsaspecten van diepe plassen hebben invloed op of worden beïnvloed door de warmte- en koudewinning?



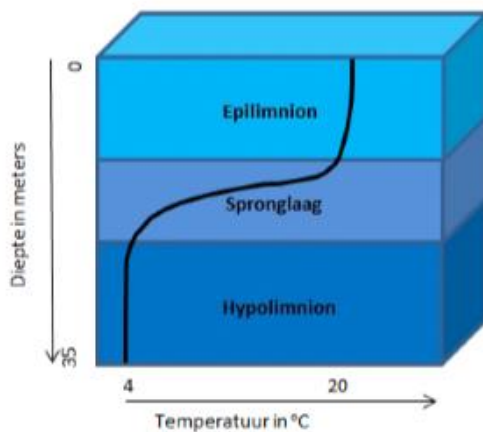
3.1 Hydrologische aspecten

Nederland heeft een groot aantal diepe putten die sinds 1900 worden gegraven voor zand- en grindwinning. In lagergelegen gebieden komen deze putten vanzelf onder water te staan, waardoor diepe plassen ontstaan. Vaak wordt ontgraven tot een diepte van 20 tot 30 meter onder maaiveld (Nederlands instituut voor ecologie, sd).

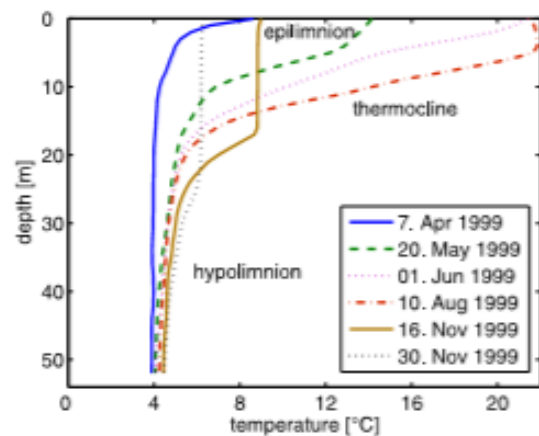
3.1.1 Huidige situatie

Temperatuur

De natuurlijke watertemperatuur wordt grotendeels bepaald door atmosferische componenten (IKSR, 2012). Als het temperatuursverloop tegen de diepte wordt uitgezet in een grafiek zijn lagen te zien, ook wel stratificatie genoemd (Osté, Jaarsma, & Van Oosterhout, 2010). Stratificatie ontstaat in diepe plassen wanneer het water onder invloed van zonne-energie opwarmt. Diepe plassen bestaan in totaal uit drie temperatuurslagen die gedurende het voorjaar gevormd worden en in het najaar weer verdwijnen. In figuur 7 wordt de globale temperatuursverloop van een gestratificeerde plas weergegeven.



Figuur 7 Globale temperatuursverloop diepe plas (Middelbrink, 2015)



Figuur 8 Temperatuursverloop meer Mondsee, Oostenrijk (Boehrer & Schultze, 2008)

Figuur 8 laat het temperatuursverloop ten opzicht van de diepte zien voor een meer in Oostenrijk. Over een diepte van circa 10 meter neemt de temperatuur af met zo'n 15°C gedurende de stratificatieperiode. De lagen van de stratificatie staan toegelicht in tabel 3.

Tabel 3 Opbouw diepe plas (Nederlands instituut voor ecologie, sd; Osté, Jaarsma, & Van Oosterhout, 2010)

Stratificatielaag	Kenmerken
Epilimnion	- Bovenste laag en staat onder invloed van atmosferische invloeden. - Watertemperatuur neemt toe tot 25°C door invloed van atmosferische invloeden. - Bevindt zich op drie tot acht meter diepte.
Metalimnion (spronglaag)	- Middelste waterlaag. Vormt overgang tussen epilimnion en hypolimnion. - Bevindt zich op 6 tot 8 meter diepte. - Sterke temperatuurgradiënt van 1°C/m of groter.
Hypolimnion	- Watertemperatuur van 4 tot 8°C. - Onder 18 meter diepte jaarrond een stabiele koude laag aanwezig. - Bevat weinig (bodem)leven.

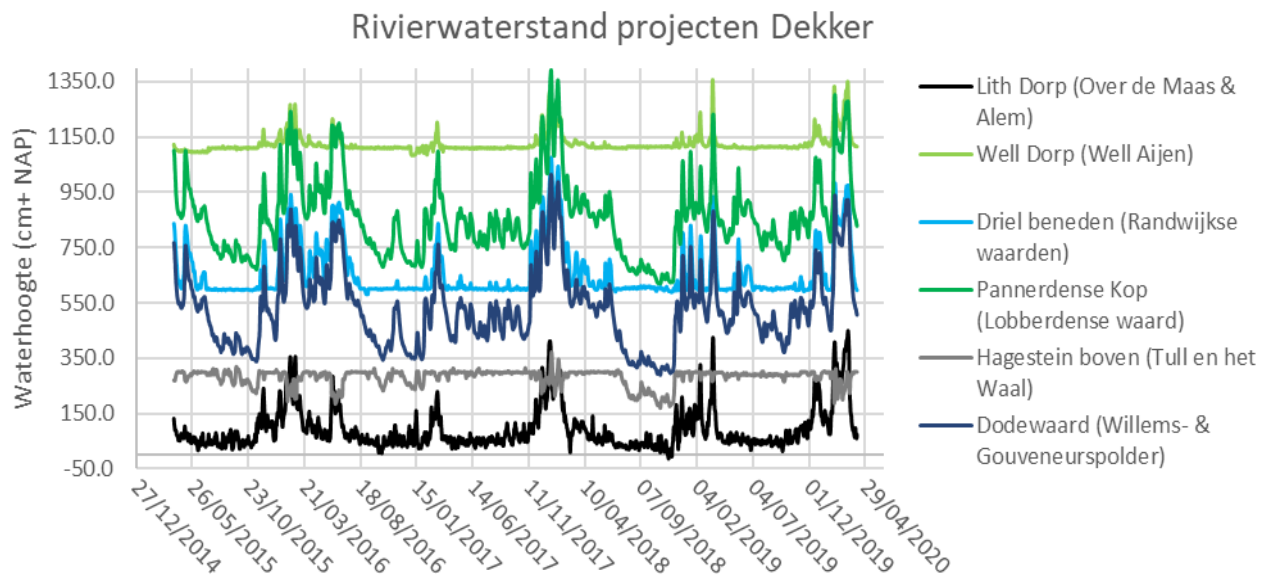
Bij de watertemperatuur van het Epilimnion moet worden opgemerkt dat het gemiddelde aantal dagen met een watertemperatuur hoger dan 20°C een stijgende trend in de Rijn en dalende trend in de Waal kent. Het gemiddelde aantal dagen met een temperatuur lager dan 5°C heeft een dalende trend in beide rivieren (bijlage IV). Hierdoor kan temperatuurverloop van een diepe plas door één jaar heen iets afwijken van figuren 7 en 8 (IKSR, 2012).

De wetgeving voor het onttrekken en lozen van water dat gebruikt wordt door een TEO-systeem is summier. Voor lozing na koude-onttrekking kan worden uitgegaan van de huidige lozingswetgeving voor koelwater, hierbij mag het temperatuurverschil tussen lozingswater en oppervlaktewater niet groter dan 3°C zijn (CBS, PBL, RIVM, WUR, 2018; Waterforum, 2019).

Waterpeil

Het waterpeil wordt beïnvloed door neerslag, verdamping, oppervlakkige toestroom van ondiep grondwater, aanvoer en wegzijgen van diep grondwater en aan- en afvoer naar oppervlaktewater. De invloed van de verschillende onderdelen is door gebrek aan informatie lastig te bepalen. Hierbij zal een groot verschil aanwezig zijn tussen diepe plassen die wel of niet aangetakt zijn aan de rivier in de aan- en afvoer van oppervlaktewater. Het overgrote deel van de Dekker projecten bevinden zich buitendijks (Osté, Jaarsma, & Van Oosterhout, 2010). Binnendijks gelegen plassen staan niet of in mindere mate onder invloed van oppervlaktewater en kunnen gereguleerd worden door stuwen en gemalen.

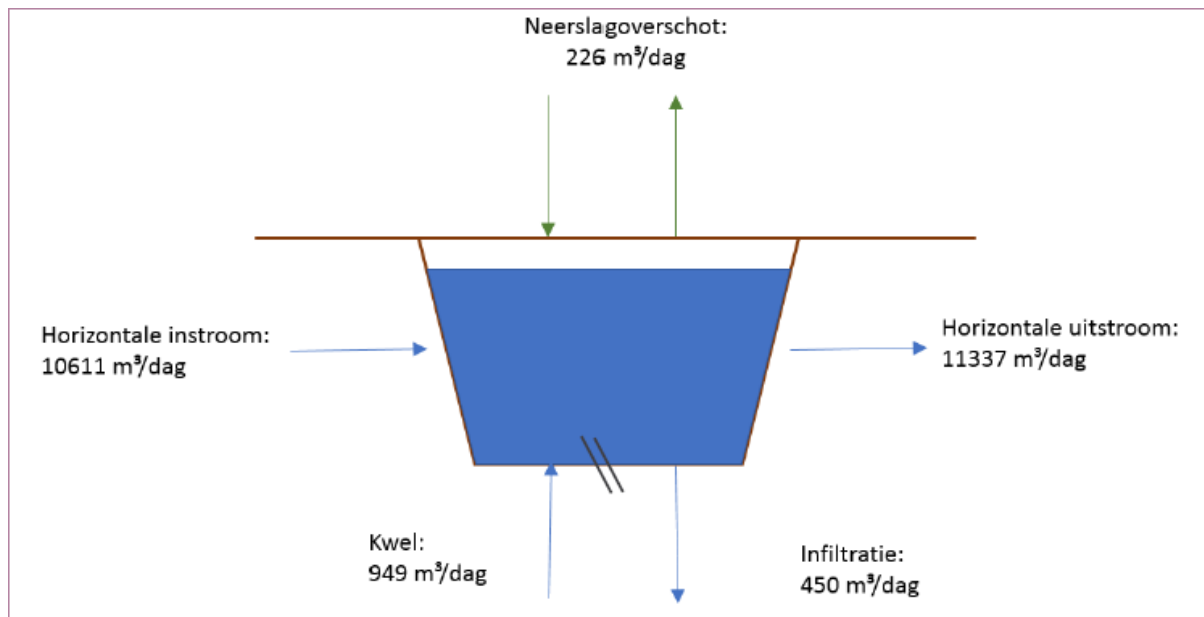
Sommige buitendijkse plassen zijn losstaand en ondervinden minder invloed dan plassen die deels aangetakt of volledig aangetakt zijn en meestromen. Het waterpeil van deze plassen wordt bepaald door de waterstand van de rivier. Deze kan door het jaar heen fluctueren, waardoor ook de plassen fluctuaties ondervinden van het waterpeil. In figuur 9 is voor de buitendijkse projectlocaties de fluctuaties in de rivierwaterstand weergegeven aan de hand van de dichtstbijzijnde meetlocatie. Zie bijlage V voor werkwijze samenstellen onderstaande grafiek.



Figuur 9 Waterstanden projecten Dekker door de jaren heen (Rijkswaterstaat, 2020)

Grondwater

Bij de realisatie van nieuwe diepe plassen wordt vooraf grondwateronderzoek uitgevoerd. Na aanleg van de diepe plas worden de grondwaterstanden gemonitord door middel van peilbuizen in de omgeving van het projectgebied. Het grondwatersysteem verschilt per locatie en is afhankelijk van de bodemopbouw. Een grondwaterstroom kan naar of zelfs door een diepe plas stromen en zo verschil brengen in het waterpeil en bepaalde (voeding)stoffen in de plas, zie figuur 10 (Osté, Jaarsma, & Van Oosterhout, 2010; Van Uden, 2018).



Figuur 10 Voorbeeld waterbalans diepe plas (Van Uden, 2018)

3.1.2 Invloed TEO-systeem

De hydrologie van diepe plassen biedt zowel kansen als voorwaarden voor een toekomstig TEO-systeem. Andersom zal een TEO-systeem invloed hebben op de hydrologie van de plassen. Hieronder zijn deze invloeden per onderdeel toegelicht.

Temperatuur

Om de onttrekking van warmte of koude uit oppervlaktewater efficiënter te maken, moet het verschil in temperatuur tussen het aanbod en de vraag zo klein mogelijk zijn. Hierom is warmtewinning in de zomer en koudewinning in de winter het meest gebruikelijk. Dit is precies andersom dan de vraag naar energie. Aangezien diepe plassen een stabiele koudwaterlaag hebben, kan hier wel het hele jaar direct koude worden gewonnen van 4-8°C (Koninklijk Nederlands Waternetwerk, 2015). Dit in tegenstelling tot ondieper oppervlaktewater. Onttrekking van warmte uit oppervlaktewater gebeurt momenteel op gerealiseerde locaties vanaf 15°C (Energie Coöperatie Duurzaam Heeg, sd; Wijnia & Niewold, 2020). Deze temperatuur is geen harde grens, maar een combinatie van de efficiëntie van de technieken en de voorraad warmte die benodigd is voor de winter.

Nadat het water uit de diepe plassen door de warmtewisselaar is gegaan, zal de temperatuur van het water veranderd zijn. In het geval van koudewinning is de retourstroom ongeveer 5°C warmer, voor warmtewinning is het ongeveer 6°C kouder (CBS, PBL, RIVM, WUR, 2018). Wanneer een relatief grote hoeveelheid water in vergelijking tot het waterlichaam wordt gebruikt, kan de temperatuur van de gehele plas veranderen. De berekening hiervoor is opgenomen in bijlage III en zal voornamelijk op stilstaand water veel invloed hebben, door gebrek aan verversing door energierijk water.

Waterpeil

De fluctuatie in de waterstand zorgt ervoor dat de locatie van het aanzuigpunt van het TEO-systeem op een plek moet zitten dat het gedurende zo veel mogelijk dagen per jaar warm water kan aanzuigen, zonder dat het systeem droog valt. Dit kan worden gedaan met een flexibel aanzuigpunt, dat op een variabele diepte water kan aanzuigen. Voor koudewinning zal het aanzuigpunt vlak bij de bodem van de plas liggen, waardoor geen rekening hoeft te worden gehouden met waterstandsverschillen.

Grondwater

In het geval van een 'Smart Polder' TEO-systeem, waarbij opgepompt water in een ander waterlichaam wordt geloosd, kan de toevoer van grondwater toenemen omdat grondwater naar het lageregelegen oppervlaktewater toestroomt.

De overige effecten van TEO-installaties op het grondwater zullen dusdanig verschillen dat dit per locatie in beeld wordt gebracht. De 'Handreiking geohydrologische beoordeling bij herinrichten van diepe plassen' kan hierbij als basis dienen. Wateronttrekking en -lozing uit hetzelfde waterlichaam zullen een gesloten waterbalans in stand houden en geen tot weinig effect hebben op de grondwaterstromen (Osté, Jaarsma, & Van Oosterhout, 2010; De Lange, 2011; Van Uden, 2018).

3.2 Ecologische aspecten

Bij de winning van warmte-energie uit oppervlaktewater wordt afgekoeld water teruggeleverd aan de plas. Door de lozing van afgekoeld water zal de watertemperatuur lokaal dalen. Bij de winning van koude-energie neemt de watertemperatuur lokaal toe door lozing van opgewarmd water. Door een gebrek aan gepubliceerde resultaten over de gevolgen van temperatuurdaling en -stijging op het ecosysteem bij TEO-projecten is de informatie over de effecten gebaseerd op theorie uit de literatuur. In tabel 4 staan de effecten van warmte- en koudewinning op verschillende aspecten weergegeven. Opgemerkt is dat de effecten voor macrofauna, waterplanten en vissen niet eenduidig zijn, doordat de optima voor de organismen sterk kunnen verschillen.

Tabel 4 Ecologische effecten warmte- en koudewinning

	Warmtewinning	Koudewinning
Zuurstof-concentratie	Verhoogde concentratie door afname van watertemperatuur. Daarnaast daalt het zuurstofgebruik van organismen bij lagere temperaturen. ¹	Verlaagde zuurstofconcentratie door toename van watertemperatuur. Het zuurstofgebruik neemt toe doordat organische stoffen sneller worden afgebroken bij hogere temperaturen. ²
Fosfaat-concentratie	Afname van fosfaatconcentratie doordat door de toename van zuurstof meer fosfaat wordt geïmmobiliseerd. ⁴	Toename van fosfaat in het epilimnion (zomer) doordat fosfaatrijk water uit het hypolimnion wordt toegevoegd. Kan bezwaarlijk zijn onder voedselrijke omstandigheden. ³
Blauwalg-concentratie/omvang	Afname van blauwalg door afname van de watertemperatuur en immobilisatie van fosfaat. ⁴	Toename van blauwalg door toename van de watertemperatuur en fosfaatconcentratie. ⁴
Macrofauna	Geen eenduidig beeld. Drempelwaarden voor start ontwikkeling en adulte ontwikkeling zijn belangrijk omdat macrofauna dan het gevoeligst zijn. ¹	Toename van de groeisnelheid door stijging van de temperatuur. Hierdoor wordt de levenscyclus vervroegd en kan een mismatch ontstaan tussen soorten. ²
Waterplanten	Lagere productie van biomassa door afname van fotosynthese en groeisnelheid. ¹	Geen eenduidig beeld.
Vissen	Geen eenduidig beeld.	Bij toename van de watertemperatuur neemt de kans op vissterfte toe. ⁵
Exoten	Afname van het aantal exoten door daling van watertemperatuur. ¹	Toename van het aantal exoten door stijging van watertemperatuur. ²
Mechanische effecten	1. Door de aanzuiging van water kunnen organismen worden meegevoerd. Hierdoor kunnen ze schade of sterfte ondervinden. Oplossing: plaatsing van roosters en zeven. ⁵	Idem warmtewinning.

	2. Systeem kan schade ondervinden door aangroei van organismen zoals mosselen. Daarentegen kunnen organismen schade ondervinden door gebruik van biocides om aangroei te bestrijden. ⁶	
--	---	--

¹Bron: (Jacobs, de Lange, & Boderie, 2017)

²Bron: (Van der Grinten, et al., 2007)

³Bron: (Osté, Jaarsma, & Van Oosterhout, 2010)

⁴Bron: (Tomassen & Smolders, 2018)

⁵Bron: (Kerkum, Bij de Vaate, Bijstra, De Jong, & Jenner, 2004)

⁶Bron: (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2004)

In de praktijk is de temperatuur van de retourstroom bij koudewinning lager dan de gewenste temperatuur van 20°C (Bakker & Smolders, 2011). Dit komt doordat het systeem nog niet efficiënt genoeg is. Een voorbeeld hiervan is de Ouderkerkerplas in Amsterdam, waar de retourstroom in het epilimnion wordt geloosd. Het koude water zakt naar het hypolimnion, waardoor de spronglaag verstoord wordt en dieper komt te liggen. Deze aspecten, met een retourstroom dat fosfaatrijk water uit het hypolimnion bevat, zorgen ervoor dat organismen bovenin de plas beschikking hebben tot meer fosfaat. Dit vergroot de kans op blauwalg (Tomassen & Smolders, 2018). In 2010 is gestart bij de Ouderkerkerplas met de injectie van zuurstof en sindsdien is de hoeveelheid ongebonden fosfaat teruggebracht met 70%. Wanneer gestopt wordt met de zuurstofinjectie, kan het fosfaat weer beschikbaar komen in de plas (Vattenfall, sd).

Om verstoring van de waterlaag te voorkomen is het bij toekomstige TEO-projecten belangrijk om goed na te denken over de locatie van de uitlaat. Verder wordt opgemerkt dat de effecten zoals die in tabel 4 beschreven staan in de praktijk kunnen meevallen door de relatief lage temperatuur van de retourstroom bij koudewinning. De mate hiervan is nog niet onderzocht en kan veranderen wanneer de techniek van koude-onttrekking wordt verbeterd.

3.3 Overige omgevingsaspecten

Vanuit de omgeving zijn nog enkele andere aspecten naar voren gekomen, die in deze paragraaf kort worden toegelicht.

Landschapsverbetering

Landschapsverbetering is een van de maatschappelijke doelen vanuit Dekker, waar ook bij de technische installatie rekening mee moet worden gehouden. De technische ruimte die nodig is voor de pompen en warmtewisselaar, zal dicht bij het water worden geplaatst. Het geluid dat door deze installaties veroorzaakt wordt is zeer gering en kan door een goede isolatie van de technische ruimte geheel voorkomen worden (Wijnia & Schuitemaker, 2020; Wijnia & Niewold, 2020). Om de installatie in de omgeving niet op te laten vallen kan deze (deels) ondergronds worden geplaatst. Buitendijks is dit niet mogelijk, omdat de ruimte wel watervrij moet blijven.

Gebruik plassen door zwemmers en watersporters

Door het multifunctioneel ruimtegebruik van de plassen zullen de in- en uitlaat beschermt moeten worden zodat zwemmers en watersporters hier niet tegenaan kunnen komen. Verder zal bij de uitlaat rekening worden gehouden met een koudwaterzone in het geval van warmtewinning. Deze zone kan een gevaar op leveren voor zwemmers en watersporters, doordat onverwachtse temperatuurdaling kramp en in uitzonderlijke gevallen het overleiden van sporters betekenen. Een oplossing hiervoor is een ballenlijn of hek om de in- en uitlaat heen.

Drijfhout, zwerfvuil en andere obstakels

Door de stroming van het oppervlaktewater, voornamelijk bij hoogwater of veel wind, kunnen drijvende obstakels richting de in- en uitlaat van de installatie stromen. De obstakels kunnen de inlaat van water verhinderen. Door een hekwerk of kooi rond de inlaat aan te brengen wordt dit voorkomen

4 Financiële haalbaarheid

De financiële haalbaarheid, ook wel businesscase genoemd, is een belangrijk aspect van de haalbaarheid van het project. Om het systeem financieel rendabel te maken is in samenwerking met Vattenfall en Duurzaam Opgewekt gekeken naar de kosten van het technische systeem, huidige mogelijke opbrengsten en welke onderdelen per locatie variabel in kosten zijn en dus kunnen worden beïnvloed door Dekker. De deelvraag die wordt beantwoord wordt is: Hoe worden de kosten en baten van een TEO-systeem beïnvloed door de locatie?



4.1 Afstand & dichtheid afnemers

De afstand tussen bron en afnemer is een belangrijk aspect binnen de haalbaarheid van een project en daarmee ook voor de afweging van de plassen van Dekker. Door middel van informatie uit een potentiëstudie van IF Technologie en een studie van CE Delft zijn grenswaarden opgesteld voor deze aspecten.

Afstand afnemers

In de literatuur zijn geen eenduidige gegevens voor de afstand waarover warmte of koude getransporteerd kan worden van bron naar afnemer te vinden. De potentiëstudie van IF Technology (2016) houdt een afstand van maximaal één kilometer aan. In het rapport 'Nationaal potentieel aquathermie' wordt daarentegen een afstand van vijf kilometer aangehouden. Achteraf blijkt dat wijken die mogelijk gebruik kunnen maken van TEO op anderhalf tot twee kilometer liggen ten opzichte van de bron (Kruit, Schepers, Roosjen, & Boderie, 2018; Scholten & van der Meer, 2016).

Op basis van de boven beschreven studies is in dit onderzoek gekozen om een maximum afstand van 2000 meter te hanteren tussen het oppervlaktewater en een wijk. Voor bedrijfsterreinen, utiliteitsgebouwen en landbouwbedrijven wordt een maximum afstand van 2500 meter gehanteerd. De maximum afstand ligt hoger doordat de dichtheid en de vraag over het algemeen hoger is dan bij woningen, waardoor een grotere afstand rendabel is.

Dichtheid afnemers

Net als bij de afstand van bron tot afnemer zijn er geen vuistregels in de literatuur te vinden over de dichtheid van afnemers. In het rapport 'Nationaal potentieel aquathermie' wordt een vraagdichtheid van minimaal 600 GJ/ha/jaar aan gehouden. De potentiëstudie van IF Technology (2016) houdt daarentegen een vraagdichtheid van minimaal 1000 GJ/ha/jaar aan. Verder wordt gesteld dat een vraagdichtheid van 4000 GJ/ha/jaar of meer het meest gewenst is (Kruit, Schepers, Roosjen, & Boderie, 2018; Scholten & van der Meer, 2016).

Op basis van de boven beschreven studies is in dit onderzoek gekozen om een minimum vraagdichtheid van 1000 GJ/ha/jaar en een optimum vraagdichtheid van >4000 GJ/ha/jaar aan te houden voor alle potentiële afnemers. Het grootste deel van de plassen van Dekker bevindt zich in het buitengebied, waardoor de afstand vrij groot is. Hierdoor is een grotere vraagdichtheid gewenst om een rendabel project te draaien (Scholten & van der Meer, 2016).

4.2 Kosten

Een TEO-systeem bestaat uit oppervlaktewater, een pompinstallatie, warmtewisselaar, vorm van opslag, warmtepomp(en), distributienet en een afgiftesysteem bij gebruikers. Het distributienet en afgiftesysteem worden in de kostprijs niet meegenomen omdat deze onderdelen, zoals in paragraaf 2.1 beschreven is, niet typerend zijn voor een TEO-systeem. Voor de opslag is een WKO gekozen, omdat het de meest gebruikte vorm van opslag is in gerealiseerde TEO-projecten. Andere vormen van opslag zijn veelal duurder dan een WKO-installatie. Voor een uitgebreide systeembeschrijving zie paragraaf 2.1.

Voor de berekening van de kosten is gebruik gemaakt van het TEO-cockpitmodel van STOWA en RebelGroup Energie en het rapport 'Nationaal potentieel aquathermie'. Daarnaast is met de heer Bloemers van Duurzaam Opgewekt gesproken. In de huidige literatuur staat weinig informatie over wat de kosten zijn voor een TEO-project met alleen koudewinning. Hierdoor kan geen duidelijke vergelijking gemaakt worden tussen kosten gemaakt voor de warmtelevering en koudelevering (RebelGroup Energie B.V., 2018; Kruit, Schepers, Roosjen, & Boderie, 2018).

4.2.1 Investeringskosten

Voor een TEO-project zijn verschillende investeringskosten (CAPEX) nodig. In tabel 5 zijn de investeringskosten van een aantal componenten van een TEO-project weergegeven. De post 'ongeïsoleerde leiding' is opgenomen, omdat van de oppervlaktewaterinstallatie tot het warmte- of koudenet een stuk leidingwerk nodig is om het water te transporteren. Verder zijn kosten zoals onvoorzien en ontwerp & advies niet opgenomen doordat ze projectafhankelijk zijn.

Tabel 5 Investeringskosten

	Eenheid ⁴	Investeringskosten ⁵	Afhankelijk van
Oppervlaktewaterinstallatie¹	€	90.000-150.000	Niet direct afhankelijk
Ongeïsoleerde leiding²	€/m	100-150	Afstand tot afnemer
WKO³	€/(GJ/jr)	30-50	Omvang warmte en/of koudevraag
Warmtepompen³	€/(GJ/jr)	30-60	Omvang warmte en/of koudevraag
Warmtewisselaar³	€/(GJ/jr)	2-3,5	Omvang warmte en/of koudevraag

¹Bron: (Kruit, Schepers, Roosjen, & Boderie, 2018)

²Bron: (Bloemers, 2020b)

³Bron: (RebelGroup Energie B.V., 2018)

⁴De eenheid €/(GJ/jaar) is de prijs per warmte- of koudevraag voor één jaar.

⁵Uitschieters zijn niet meegenomen. Zie bijlage VI voor een nadere uitwerking.

Hierbij moet worden opgemerkt dat de investeringskosten voor een WKO starten bij €100.000,- en dan oplopen afhankelijk van de diepte en benodigde capaciteit (Bloemers, 2020b).

Een project waar warmte wordt geleverd verschilt op een aantal aspecten van een project met koudelevering. Zo is bij een project met alleen koudewinning geen warmtepomp nodig, omdat de temperatuur van het water niet hoeft te worden opgewaardeerd. Verder is bij een diepe plas geen WKO-installatie nodig, door de grote voorraad koude gedurende de zomermaanden onderin de plas (Van Bulderen, 2020).

4.2.2 Onderhoudskosten

Onderhoudskosten, ook wel OPEX genoemd, worden in tegenstelling tot investeringskosten elk jaar gemaakt. Over het algemeen kan gezegd worden dat onderhoudskosten 2,5% per jaar van de investeringskosten bedragen. Bij warmtepompen wordt vaak 5% per jaar van de investeringskosten gerekend voor de onderhoudskosten (Bloemers, 2020b). In tabel 6 zijn de onderhoudskosten voor de componenten uit de bovenstaande paragraaf weergegeven.

Tabel 6 Onderhoudskosten

	Eenheid ⁴	Onderhouds- en beheerkosten ⁴	Afhankelijk van
Oppervlaktewaterinstallatie¹	€/(GJ/jr)	0,20-1,30	Omvang warmte en/of koudevraag
Ongeïsoleerde leidingen²	€/m	2,5-3,75	Afstand tot afnemer
WKO¹	€/(GJ/jr)	0,80-1,70	Omvang warmte en/of koudevraag
Warmtepompen¹	€/(GJ/jr)	1-2	Omvang warmte en/of koudevraag
Warmtewisselaars¹	€/(GJ/jr)	0,02-0,11	Omvang warmte en/of koudevraag
Elektriciteit pompen en installaties¹	€/(GJ/jr)	6,50-9,60	Omvang warmte en/of koudevraag

¹Bron: (Bloemers, 2020b)

²Bron: (RebelGroup Energie B.V., 2018)

³De eenheid €/(GJ/jaar) is de prijs per warmte of koudevraag voor één jaar.

⁴Uitschieters zijn niet meegenomen. Zie bijlage VII voor een nadere uitwerking.

Zoals eerder benoemd valt bij koudewinning de kostenpost voor een WKO en warmtepompen weg. Hierbij wordt opgemerkt dat in plaats van een warmtepomp, een waterpomp nodig is om het water te kunnen verplaatsten. De kosten voor een waterpomp die het water over twee kilometer verplaatst zijn ongeveer €25.000 - €50.000. Verder zullen de kosten voor elektriciteit minder zijn doordat warmtepompen niet nodig zijn (Bloemers, 2020b).

4.3 Opbrengsten

Het gemiddelde warmteverbruik van huishoudens met stadsverwarming, dat ook werkt met een centraal warmtenet, is 42 GJ per jaar, waarvan 35 GJ gebruikt wordt voor ruimteverwarming. Tabel 7 geeft de kosten weer die hieraan verbonden zijn. De tarieven voor de levering van warmte worden jaarlijks wettelijk gemaximeerd. Uitgaande van een verbruik van 42 GJ komt de rekening voor één huishouden uit op ongeveer €1580 per jaar (Milieu centraal, 2020).

Tabel 7 Kosten warmte voor afnemers (Autoriteit Consument & Markt, sd)

Kosten per jaar	Waarde (incl. btw)
Kosten per GJ	€26,06
Maximaal vastrecht	€469,17
Maximaal meettarief	€26,63

Voor de kosten van koude-energie zijn geen richtlijnen vanuit de overheid. Vanuit verschillende andere projecten komt naar voren dat koude vanuit een WKO voor particulieren vaak gratis wordt aangeboden, aangezien de vraag laag is en de WKO wel weer opgeladen moet worden met warmte, zie bijlagen II.3 en IX. De kosten voor zakelijke afnemers van koude zijn in het voorbeeld €9,22 per GJ, exclusief btw. Het voorbeeld is een kostenindicatie van Vattenfall, waarbij koude uit een diepe plas wordt gebruikt om te koelen in Amsterdam (Vattenfall, 2020; W/E adviseurs, 2018).

Hiernaast zijn nog verschillende subsidies welke bestaan om duurzame energie te stimuleren. Verdere uitwerking van de subsidies en welke onderdelen in een TEO-project in aanmerking komen staan in bijlage VIII.

Subsidies bruikbaar voor TEO (Bloemers, 2020a):

- Energie-Investeringsaftrek (EIA);
- Investeringssubsidie duurzame energie (ISDE);

- Stimuleringsregeling duurzame energieproductie (SDE++);
- Programma Aardgasvrije Wijken (PAW); proeftuinen.

4.4 Haalbaarheid TEO

Uitspraken doen over de financiële haalbaarheid van TEO is moeilijk doordat elk TEO-project anders is en afhankelijk is van verschillende aspecten. Zo kan het leveren aan één utiliteitsgebouw al rendabel zijn, terwijl dit niet het geval is bij één woning. Dit komt doordat de vraag naar koude en warmte vanuit de industrie, kantoren en ziekenhuizen is groter (Wijnia & Niewold, 2020).

TEO is in ontwikkeling, waardoor sommige onderdelen nog niet efficiënt werken en de kosten hoger uitvallen. Daarnaast zorgen de hoge investeringskosten voor distributie dat de kosten niet altijd gedekt kunnen worden door de opbrengsten. Door verschillende subsidies vanuit het Rijk, is het wel haalbaar om een TEO-project uit te voeren. Daarnaast is het moeilijk om bij een koudeproject uitspraken te doen over de haalbaarheid, omdat er geen tarief is vastgesteld voor de levering van koude-energie. Uit een gesprek met Vattenfall kwam naar voren dat momenteel de levering van koude-energie nog niet winstgevend is (Van Bulderen, 2020).

Hiernaast zijn de wettelijke kaders en vergunningen belangrijk voor de haalbaarheid van een TEO-project. Een overzicht van de benodigde wettelijke kaders en vergunningen voor TEO en WKO zijn weergegeven in bijlage IX. Voor de WKO verbods- en aandachtsgebieden kan de WKO-tool gebruikt worden. Voor de lozing van koelingswater (vanuit koude-onttrekking) moet rekening worden gehouden met wettelijke beperkingen, evenals voor een TEO-systeem buitendijks.

5 Afwegingskader

Voor het afwegingskader is voorgaande literatuur gebruikt om verschillende voorwaarden op te stellen. Hiermee wordt bepaald of de diepe plassen in eigendom van Dekker potentie hebben voor de realisatie van een TEO-systeem. Uit de gehouden interviews en de literatuurstudie zijn vervolgens de weging van de voorwaarden bepaald.

Het afwegingskader bevat de voorwaarden waarop de diepe plassen getoetst worden voor de hydrologische, financiële en systematische haalbaarheid. Hierbij is gekozen voor voorwaarden waar de gegevens al voor bekend zijn bij Dekker en voorwaarden die niet meer beïnvloed kunnen worden maar wel essentieel zijn voor de werking van het systeem. Een deel van de plassen is voortijdig afgefallen omdat Dekker hier geen gegevens over heeft of de plas dusdanig verondiept en verkleind wordt dat niet duidelijk is of de realisatie van een TEO-installatie in de toekomst technisch haalbaar is. In bijlage X is voor alle afgewogen locaties een impressie weergegeven van het ontwerp waarop de plassen getoetst zijn.



5.1 Voorwaarden

In deze paragraaf zijn de voorwaarden opgesteld vanuit de literatuurstudie en interviews uit voorgaande hoofdstukken. Per voorwaarde is een onderbouwing en toetsing weergegeven. De toetsing is opgedeeld in 2 of 3 stappen, waarin de minst gunstige situatie 0 punten oplevert. De meest gunstige situatie levert 2 punten op. Voor voorwaarde 8_DIJK is gekozen voor een 2-staps toetsing, aangezien hier voor beide situaties de realisatie van een TEO-systeem mogelijk is, maar de financiële invloed kan verschillen.

Hydrologische voorwaarden

Voor het opstellen van de hydrologische voorwaarden is gebruik gemaakt van de informatie uit hoofdstuk 3, bijlage III en het Aquathermie webinar van IF Technology. Hierbij is als vuistregel genomen; hoe meer water, hoe stabiel het systeem (Wijnia & Schuitemaker, 2020). Verder is gericht op een TEO-systeem met een minimaal draagvlak van 200 woningen, gezien de wens van Dekker om voor de omgeving rond de plas maatschappelijke meerwaarde te creëren.

1_VOK	<i>Voor koude-energie moet de plas minimaal 18 meter diep zijn en het volume onder deze grens moet minimaal $1 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ bedragen.</i>
-------	---

Om gedurende het hele jaar koude te kunnen bieden moet de plas een minimale diepte hebben van 18 meter en voldoende volume om aan de koudevraag te voldoen. Het minimale volume moet verder voldoende zijn voor een stabiel systeem.

De scores voor deze eis worden toegekend als:

- 2: Plas is voldoende diep en het volume is geschikt voor koudewinning (meer dan $3 \cdot 10^6 \text{ m}^3$);
- 1: Plas is voldoende diep, maar permanente winning is niet zeker (tussen $1 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ en $3 \cdot 10^6 \text{ m}^3$);
- 0: Geen koudewinning mogelijk door gebrek aan volume en diepte.

2_VOW	<i>Volume van warmte moet minstens $1 \cdot 10^6$ zijn om een TEO-installatie op gewenste schaal te kunnen plaatsen.</i>
-------	---

De levering van warmte gebeurt alleen gedurende de periode dat het oppervlaktewater een temperatuur van 15°C of hoger heeft. Deze temperatuur wordt bereikt in de oppervlaktewaterlaag van de diepe plas. Het volume van deze laag, met een diepte van 4 meter, is grotendeels bepalend voor de mogelijke te winnen warmte. Hierbij mag ervan uit gegaan worden dat de atmosferische invloeden niet per plas verschillen, waardoor dit niet wordt meegenomen in de afweging, zie bijlage III).

De scores voor deze eis worden toegekend als:

- 2: Plas heeft meer dan $1,5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$;
- 1: Plas heeft tussen $0,6 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ en $1,5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$;
- 0: Plas heeft onvoldoende capaciteit om in warmte te voorzien.

3_LOS	<i>Verbinding met ander oppervlaktewater is gewenst om de capaciteit van warme en koude-energie te verhogen.</i>
-------	--

Om optimaal warmte en koude te kunnen winnen uit het oppervlaktewater, is aanvulling van de warmte- en koude-energie essentieel. Hierop zijn naast atmosferische invloeden ook de temperatuur van het (oppervlakte) water waarmee de plas in verbinding staat van invloed. Het aangevoerde oppervlaktewater kan voornamelijk de warmtecapaciteit van de plas verhogen.

De scores voor deze eis worden toegekend als:

- 2: Volledig aangetakt met continue stroming;
- 1: Deels aangetakt of aangesloten op het watersysteem (oppervlaktewater) met minimale stroming (bij laag water);
- 0: Losstaand van oppervlaktewater zonder stroming door aan- of afvoer van water.

Financiële voorwaarden

Bij de beoordeling van de plassen op de financiële voorwaarden is een gemiddelde genomen van de afnemers per plas. Hiervoor is gekozen om goed globaal beeld te schetsen van de haalbaarheid van de plassen op de onderstaande eisen. Voor de afstand tot bedrijven, utiliteitsgebouwen en woningen is hemelsbreed de afstand gemeten in GIS, de benodigde lengte van de buizen kan langer zijn. Voor informatie over de locatie en oppervlakte van de afnemers zijn twee databases van het NGR geraadpleegd. De voorwaarden zijn afkomstig uit hoofdstuk 4.

4_ATB	De afstand tot bedrijven en utiliteitsgebouwen mag maximaal 2500 meter bedragen.
-------	--

Voor de distributie van thermische energie zijn (geïsoleerde) buizen nodig. Dit is vaak een grote kostenpost van een TEO-project. Om dit zo laag mogelijk te houden, zijn afnemers dicht bij de thermische energiebron gewenst. Aangezien de vraag vanuit bedrijven vaak groter is dan bij woningen, kan het systeem tot 2500 meter financieel rendabel zijn.

De scores voor deze eis worden toegekend als:

- 2: Minder dan 1000 meter;
- 1: Tussen 1000 en 2500 meter;
- 0: Meer dan 2500 meter.

5_ATW	De afstand tot woningen mag maximaal 2000 meter bedragen.
-------	---

Voor de distributie van thermische energie zijn (geïsoleerde) buizen nodig. Dit is vaak een grote kostenpost van een TEO-project. Om dit zo laag mogelijk te houden, zijn afnemers dicht bij de thermische energiebron gewenst. Aangezien de vraag vanuit woningen vaak kleiner is dan bij utiliteitsgebouwen, kan het systeem tot 2000 meter financieel rendabel zijn.

De scores voor deze eis worden toegekend als:

- 2: Minder dan 1000 meter;
- 1: Tussen 1000 en 2000 meter;
- 0: Meer dan 2000 meter.

6_DAF	<i>Een vraagdichtheid van minimaal 1000 GJ/ha/jr. is gewenst onder de afnemers.</i>
-------	---

Om de kosten per GJ zo laag mogelijk te houden, is een hoge dichtheid van afnemers gewenst. Hierdoor worden de kosten van het distributienet onder meer afnemers verdeelt. De dichtheid van afnemers is berekend aan de hand van de vraag van de afnemers per hectare.

Voor woningen en kassen was tijdens de afweging de vraag bekend. Voor andere afnemers zoals bedrijventerreinen en ziekenhuizen was dit niet het geval. Daarnaast was door de beperkte tijd het niet haalbaar om de energievraag voor elke afnemer uit te zoeken. Daarom wordt bij de afnemers waar de vraag niet voor bekend is gekeken naar het oppervlak dat gekoeld of verwarmd zou kunnen worden.

De scores voor deze eis worden toegekend als:

- 2: Meer dan 4000 GJ/ha/jaar of meer dan 20 ha;
- 1: 1000 - 4000 GJ/ha/jaar of 10-20 ha;
- 0: Minder dan 1000 GJ/ha/jaar of minder dan 10 ha.

Overige voorwaarden

Onderstaande voorwaarden zijn geselecteerd om de technische haalbaarheid zo groot mogelijk te maken. Daarnaast hebben ze invloed op de investeringskosten van het project. Voor beide voorwaarden is het mogelijk om alternatieve technische oplossingen te vinden, wanneer de score 0 is. De voorwaarden zijn afkomstig uit hoofdstuk 2 en bijlage II.3.

7_WKO	<i>De omgeving van de diepe plas biedt mogelijkheid aan een WKO-installatie binnen een straal van één kilometer vanaf de TEO-installatie.</i>
-------	---

Om warmtewinning uit diepe plassen rendabeler te maken dan warmtewinning uit lucht, is een tijdelijke opslag van warmte nodig. WKO is de meest toegepaste en goedkoopste opslagmogelijkheid. De warmte die in de zomer uit het water wordt gewonnen, kan in de winter gebruikt worden. De toepassing van een WKO is afhankelijk van verbods- en aandachtsgebieden, terug te vinden in de WKO-tool (Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, 2020) en bijlage IX.

De scores voor deze eis worden toegekend als:

- 2: Geen obstakels voor een WKO;
- 1: Aandachtsgebieden binnen een straal van één kilometer van de diepe plas;
- 0: Verbodsgebieden binnen eens straal van één kilometer van de diepe plas die een WKO onmogelijk maken.

8_DIJK	<i>Binnendijkse plaatsing van de TEO-installatie heeft technisch voordeel boven buitendijkse plaatsing.</i>
--------	---

Buitendijkse plaatsing van een TEO-installatie zorgt voor extra technische uitdagingen. Zo is buitendijks sprake van een groter waterstandsverschil en zullen leidingen over, door of onder dijken worden gelegd. Dit is mogelijk een extra kostenpost.

De scores voor deze eis worden toegekend als:

- 1: Binnendijks;
- 0: Buitendijks.

5.2 Weging

Essentiële voorwaarden voor het functioneren van de TEO-installatie wegen zwaarder in het afwegingskader van de diepe plassen, zie tabel 8. Voorwaarden 1_VOK en 2_VOW zijn de bron waarop het systeem op gebaseerd is. Zonder (voldoende) water is het systeem niet mogelijk of niet betrouwbaar genoeg om aan de vraag van koude en warmte te voldoen.

Voorwaarde 7_WKO is eveneens als essentieel opgenomen. Dit door de aanzienlijke financiële verschillen tussen een WKO en alternatieve opslagmethoden (bijlage II.3). Hierdoor kan door de afwezigheid van een geschikte locatie voor een WKO-warmtewinning in bestaande projecten vrijwel niet financieel rendabel worden.

Tabel 8 Weging per voorwaarde

Voorwaarde	Weging	
Hydrologie	1_VOK	2
	2_VOW	2
	3_LOS	1
Financieel	4_ATB	1
	5_ATW	1
	6_DAF	2
Overig	7_WKO	2
	8_DIJK	1

5.3 Scoretabel

In de introductie van hoofdstuk 5 is toegelicht dat enkele locaties vooraf zijn afgevalen door gebrek aan informatie of gebrek aan oppervlaktewater. Dit is vooraf aangegeven door Dekker, zie bijlage X. Voor de onderzoekslocaties LGR en DMA is gebleken dat weinig gegevens beschikbaar zijn, aangezien deze niet in Nederland gelegen zijn. Hierom komt bij deze locaties een error uit de scoretabel en kunnen de locaties niet worden meegenomen in de afweging.

De scores zijn gebaseerd op informatie verzameld door middel van interne documenten van Dekker, GIS-databases van Hogeschool Van Hall Larenstein & Nationaal Georegister (NGR), Google Maps en de WKO Tool. Voor alle plassen die in de scoretabel staan zijn de voorwaarden van paragraaf 5.1 getoetst aan de gewenste of gerealiseerde situatie. De uitwerking per voorwaarde voor alle plassen is terug te vinden in bijlagen XI t/m XIII.

Tabel 9 vormt een indicatie van de potentie van de plassen. Hier is geen harde grens in gesteld wanneer een plas wel of niet geschikt is voor een TEO-systeem. De hoogste scorende locaties hebben de meeste potentie, de laagst scorende locaties hebben de minste potentie.

Tabel 9 Scoretabel van de verschillende projecten per voorwaarde

Locaties	Voorwaarde								Totaal score	
	1_VOK	2_VOW	3_LOS	4_ATB	5_ATW	6_DAF	7_WKO	8_DIJK	Som	Met weging
	<i>Bijlage XI</i>	<i>Bijlage XI</i>	<i>Bijlage X</i>	<i>Bijlage XII</i>	<i>Bijlage XII</i>	<i>Bijlage XII</i>	<i>Bijlage XIII</i>	<i>Bijlage X</i>		
Over de Maas	1	1	1	1	0	0	1	0	5	8
Geertjesgolf	2	2	0	1	1	0	2	1	9	15
Well Aijen	0	2	2	1	1	1	1	0	8	12
Randwijkse waarden	1	1	1	1	2	2	0	0	8	12
Bomhofspas	2	2	0	1	0	2	1	1	9	16
Tull en het Waal, natuurdeel	0	0	1	1	0	2	1	0	5	8
Tull en het Waal, recreatiedeel	1	0	0	1	0	2	1	0	5	9
Willemspolder fase 1, oost	2	1	1	2	2	2	1	0	11	17
Willemspolder fase 1, west	1	1	1	1	1	1	1	0	7	11
Gouveneurspolder	2	2	1	2	2	0	1	0	10	15
Alem	2	1	2	1	2	1	1	0	10	15
Lobberdense waard, bak 1	0	1	0	2	1	0	1	0	5	7
Lobberdense waard, bak 2	0	1	0	2	1	0	1	0	5	7

6 Vervolgstappen TEO

Voor een controle van het afwegingskader en inzicht in de vervolgstappen voor het realiseren van een TEO-installatie is een pilotstudie uitgevoerd. Hiervoor is voorgaande literatuurstudie gebruikt en zijn interne documenten beschikbaar gesteld door Dekker. Hiernaast zijn interviews gehouden met de betrokken instanties zoals gemeenten en bedrijventerreinen. Uit de pilotstudie, in combinatie met de extra afgenomen interviews, volgen aandachtspunten en een toekomstvisie voor de realisatie van een TEO-systeem bij diepe plassen.



6.1 Pilots

Twee projecten volgen uit het afwegingskader in voorgaand hoofdstuk als potentieel meest geschikt voor een TEO-systeem. Deze pilots worden verder uitgewerkt om meer inzicht te geven in de vervolgstappen benodigd om tot een TEO-installatie te komen. Slechts twee projecten worden uitgewerkt door gebrek aan onderzoekstijd. De gekozen projecten hebben de hoogste potentie voor het uitvoeren van TEO-projecten.

De projecten zijn;

- Willemspolder fase 1 (uitgebreide uitwerking in bijlage XIV)
- Bomhofspas (uitgebreide uitwerking in bijlage XV)

De informatie van de plassen is vergaard door middel van literatuuronderzoek en voorgaand onderzoek van Dekker. Verder heeft overleg plaatsgevonden met de betreffende projectleiders van Willemspolder fase 1 en Bomhofspas, zijnde Toon van Mierlo en Pieter Mantel, en de betreffende gemeentes Neder-Betuwe en Zwolle.

6.1.1 Willemspolder fase 1

De Willemspolder fase 1 (hierna Willemspolder) wordt gerealiseerd tussen 2022 en 2032. Het projectgebied is 165 hectare, buitendijks gelegen aan de rechteroever van de Waal tussen Tiel en Ochten, in de gemeente Neder-Betuwe (figuur 11). Onderstaande informatie is afkomstig van het voorlopige inrichtingsplan dat in mei 2020 bekend was (Van Mierloo & Holtrust-Westerbeek, 2019). In dit plan wordt gestuurd op hoogwaterveiligheid, natuurontwikkeling, landschapontwikkeling & recreatie en duurzaamheid & mobiliteit. Een verdere uitwerking van tabel 10 met de toekomstige functies, berekeningen en nadere toelichting vanuit literatuurstudie op de hydrologie en ecologie is te vinden in bijlage XIV.



Figuur 11 Basis ontwerp Willemspolder fase 1 (QGIS, 2020)

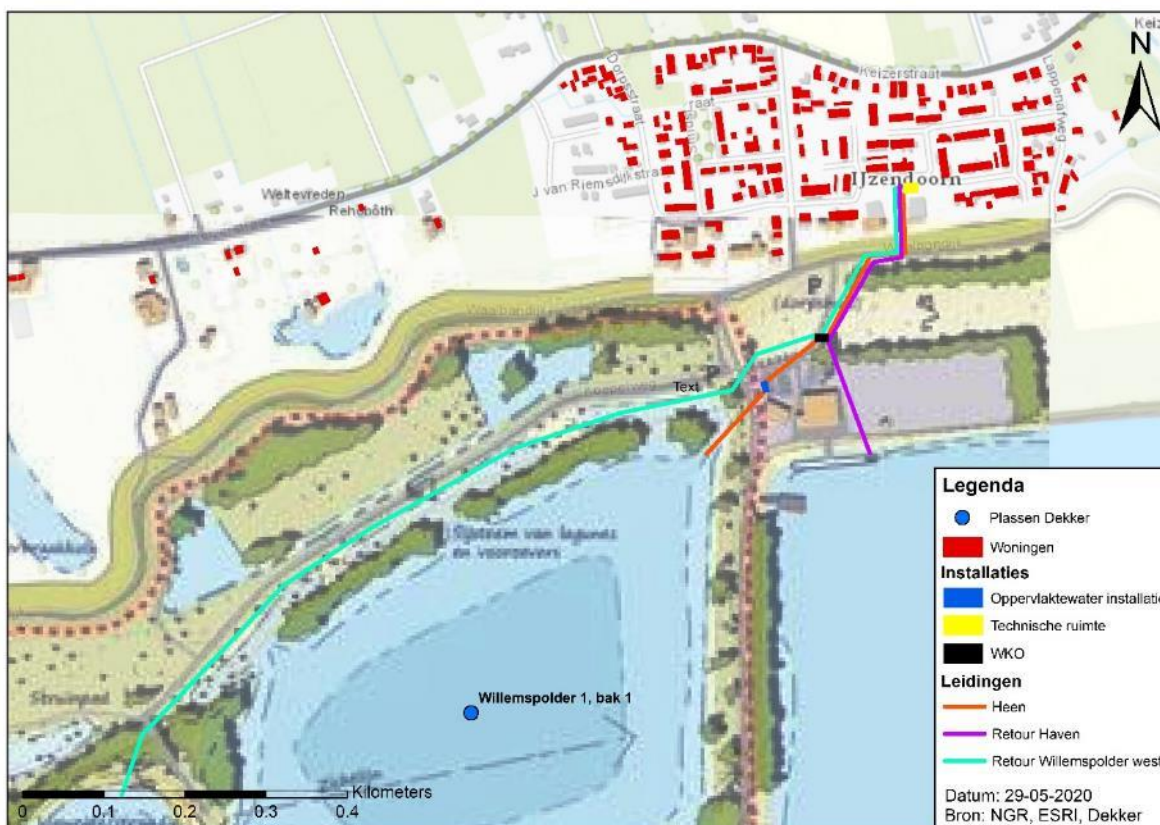
Tabel 10 Gegevens Willemspolder fase 1

Energiepotentieel	Bijlage III & bijlage XIV.1
Koude-energie	8,27 * 10 ⁴ GJ
Warmte-energie	1,0 * 10 ⁶ GJ
Omgevingsaspecten	Bijlage XIV.2
Hydrologie	Buitendijks gelegen
	Meestromend met hoogwater van 9 m+ NAP.
	Hoogwatervrijterrein aanwezig voor eventuele technische ruimte.
	Continue verversing door verbinding met de Waal.
	Veel waterstandsverschillen door verbinding met de Waal.
Ecologie	Rondom de plas is rivier- en beekbegeleidend bos, kruiden- en faunarijk grasland, botanisch waardevol grasland te vinden.
	De totale chemische en ecologische toestand voldoen niet aan de KRW-richtlijnen, de fysische chemie wel.
Overige omgevingsaspecten	Vaak drijfhout en zwerfvuil bij hoogwater Waal
	Recreatie door zwemmers en (wind)surfers
Vraag en financiën	Bijlage XIV.3
Koude-energie	Bedrijventerrein Ochten 5,29 * 10 ⁴ GJ
Warmte-energie	IJzendoorn 1,12 * 10 ⁴ GJ
Meekoppelkansen	Vervanging riolering IJzendoorn over 5 jaar
Financiën warmte	CAPEX: €1,2 miljoen
	OPEX: €132.000 per jaar
	Opbrengsten: €423.000 per jaar

Inpassing TEO-systeem

De fluctuatie van het waterpeil door ligging aan de Waal zorgen voor een aantal technische en hydrologische uitdagingen. Voor warmte-energie is vanwege de waterstandsverschillen een beweegbare inlaat nodig. Dekker heeft hier al ervaring mee met grondstofwinningsinstallaties die meebewegen met de waterstanden. De Willemspolder zal eens per vijf jaar met hoogwater meestromen met de Waal, waardoor een technische ruimte niet direct naast de plas kan worden geplaatst. Aanbevolen locatie voor de technische ruimte is op een hoogwatervrijterrein van Dekker. Verder mag het TEO-systeem niet voor waterstandsverhoging zorgen bij maatgevend hoogwater, wat op die manier voorkomen wordt.

Voor de levering van de thermische energie aan IJzendoorn en omgeving, moet een buis door of onder de Waalbanddijk worden aangebracht. De zomerdijk wordt niet gekruist. Verder is een WKO-installatie mogelijk op het terrein van Dekker of binnendijks in IJzendoorn. Figuur 12 is een voorbeeld van hoe het TEO-systeem gesitueerd kan worden.



Figuur 12 Mogelijke locatie leidingen en installaties Willemspolder

Bij de implementatie van een TEO-systeem bij de Willemspolder kan lokaal temperatuursverandering van het oppervlaktewater optreden. Dit kan effect hebben op de groeisnelheid van de organismen en de paaitijd van vissen. Verder is door de aanwezigheid van agrarisch areaal kan op fosfaatrijkwater. Aandachtspunt hierbij als dit terug komt in de plas er een vergrootte kans is op blauwalg. Daarnaast is het belangrijk dat de lozing van de retourstroom op de omdat er anders een verstoring van de waterlagen kan optreden. Effecten kunnen minder zijn door de constante aan en afvoer van water. Monitoring van effecten na ingebruikneming is van belang.

Voor de veiligheid voor zwemmers en watersporters kan een kooi of hek om de in- en uitlaat geplaatst worden, zoals ook aangegeven in paragraaf 3.3. Dit kan ook schade door drijfhout en zwerfvuil voorkomen.

Potentiële afnemers bij de Willemspolder zijn IJzendoorn en een bedrijventerrein in Ochten. De vraag van deze afnemers kan worden voorzien met de beschikbare energie in de Willemspolder. Een interessante meekoppelkans is de vervanging van de riolering in IJzendoorn over vijf jaar. Om een indicatie te krijgen van de kosten bij de Willemspolder is gerekend met IJzendoorn als afnemer. De CAPEX, OPEX en opbrengsten bedragen respectievelijk; €1,2 miljoen, €132.000,- en €423.000,-. Aandachtspunt hierbij is dat een groot deel van de woningen gebruik moet maken van de warmte om het systeem rendabel te maken. Daarnaast zijn de kosten voor de distributie en afgifte in de CAPEX en OPEX niet meegenomen, omdat deze niet typerend zijn voor TEO.

6.1.2 Bomhofsplas

De Bomhofsplas is een project in uitvoering tot eind 2028. Het projectgebied is ruim 65 hectare groot, gelegen ten noordoosten van Zwolle. De diepe plas is binnendijs gesitueerd en wordt, door de afwezigheid van connectie met ander oppervlaktewater, als losstaande plas beschouwd. Sinds 2020 is een drijvend zonnepark aangelegd, zie vlak in figuur 13. Een verdere uitwerking van tabel 11 voor de gebruikte formules en nadere toelichting vanuit de literatuurstudie op de hydrologie en ecologie is te vinden in bijlage XV (SWECO, 2018).



Figuur 13 Ontwerp Bomhofsplas (SWECO, 2018)

Tabel 11 Gegevens Bomhofsplas

Energiepotentieel	Bijlage III & bijlage XV.1
Koude-energie	$17,05 * 10^4$ GJ
Warmte-energie	$1,1 * 10^6$ GJ
	Zonnepanelen aanwezig, mogelijke afname energie: $0,28 * 10^6$ GJ.
Omgevingsaspecten	Bijlage XV.2
Hydrologie	Binnendijs gelegen Geen verbinding met ander oppervlaktewater. Apart polderpeilgebied met gereguleerd zomer- en winterpeil. Grote grondwaterstromen vanuit de Vecht en naar omliggende polders. Stuw van het waterschap als overloop.
Ecologie	Plas wordt omringt door agrarisch grasland en landbouwgrond. Natuur in en rond de plas is nog in ontwikkeling.

	Soortendiversiteit met betrekking tot de vissen en water- en oeverplanten zijn laag, de soortendiversiteit van macrofauna is goed.
Overige omgevingsaspecten	Mogelijk recreatie door zwemmers en (wind)surfers.
Vraag en financiën	Bijlage XV.3
Koude-energie	Bedrijventerrein Hessenpoort $16,78 * 10^4$ GJ
Warmte-energie	Bedrijventerrein Hessenpoort $4,75 * 10^4$ GJ
Meekoppelkansen	Gemeente Zwolle en bedrijventerrein Hessenpoort zijn actief bezig met de energietransitie en verduurzamen. Gemeente heeft een wens om een warmteringsnet aan te leggen.
Financiën warmte	CAPEX: €15,2 miljoen
	OPEX: €2,0 miljoen per jaar
	Opbrengsten: €4,4 miljoen per jaar

Inpassing TEO-systeem

De implementatie van een TEO-systeem bij de Bomhofspas zal naar verwachting geen technische en hydrologische uitdagingen opleveren. Bij de plas zijn zowel mogelijkheden voor warmte- als koudewinning. Doordat de plas niet in verbinding staat met andere wateren is de hoeveelheid beschikbare warmte- en koude-energie beperkt. Het geringe peilverschil tussen de zomer- en wintersituatie zorgt ervoor dat een vaste inlaat voor de warmtewinning kan worden gebruikt en er voldoende locaties zijn voor een technische ruimte. Bij de Bomhofspas is de mogelijkheid voor een Smart Polder systeem door de aanwezigheid van een stuw. Gevaar hierbij is dat grondwater uit de omgeving wordt aangetrokken, door een ongesloten waterbalans. Figuur 14 is een voorbeeld van waar het TEO-systeem geplaatst kan worden.



Figuur 14 Mogelijke locatie leidingen en installaties Bomhofspas

Bij toepassing van een TEO-systeem bij de Bomhofspas kan lokaal temperatuursverandering optreden. Doordat de natuur nog in ontwikkeling is kan dit meer invloed hebben op de groeisnelheid van de waterorganismen en op de paaitijd van vissen. Daartegenover staat dat door het terugstorten lokaal stroming in de plas wordt gecreëerd wat aantrekkelijk kan zijn voor andere waterorganismen. Door de ligging van de plas in een landbouwgebied kan het water in de plas fosfaatrijk zijn. Als dit fosfaatrijke water terug in de plas wordt geloosd neemt de kans op blauwalg toe. Om de exacte effecten van de winning van energie uit water is het van belang om de ecologie en waterkwaliteit te monitoren na ingebruiksneming. Dit kan gekoppeld worden aan de monitoring die momenteel plaatsvindt tijdens de zandwinning.

Voor de veiligheid voor zwemmers en watersporters kan een kooi of hek om de in- en uitlaat geplaatst worden, zoals ook aangegeven in paragraaf 3.3. Afhankelijk van de hoeveelheid recreatie kan een ballenlijn in het water ook voldoende zijn.

De grootste potentiële afnemer bij de Bomhofspas is bedrijventerrein Hessenpoort. Door de actieve houding van gemeente Zwolle en bedrijventerrein Hessenpoort op verduurzaming is de kans van slagen van een TEO-project groot. Daarnaast kan op termijn ook de stad Zwolle afnemer worden van de warmte-energie uit de plas door de wens van de gemeente van het aanleggen van een warmteringsnet. De CAPEX, OPEX en opbrengsten voor de levering van warmte-energie aan Hessenpoort bedragen respectievelijk; €15,2 miljoen, €2,0 miljoen en €4,4 miljoen. Aandachtspunt hierbij is dat de kosten voor de distributie en afgifte in de CAPEX en OPEX niet meegenomen, omdat deze niet typerend zijn voor TEO.

6.2 Aanpassingen afwegingskader

In het afwegingskader is in eerste instantie voornamelijk getoetst op voorwaarden van de bron (voldoende thermische energie), financiële voorwaarden (afstand en dichtheid van afnemers) en opslagmogelijkheden. Vanuit de uitgevoerde pilots zijn extra punten naar voren gekomen die in de toekomst kunnen worden meegenomen bij de afweging en uitwerking van diepe plassen, zie tabel 12.

Tabel 12 Aandachtspunten afwegingskader

Ligging buitendijks	Een buitendijkse locatie is niet per definitie ongeschikt voor een TEO-systeem. Er zal een aparte categorie komen voor een buitendijkse ligging met een hoogwatervrijterrein zoals Willemspolder. Hierdoor kan de technische ruimte toch droog gebouwd worden dichtbij de bron.
Energievraag	De energievraag zal verder gespecificeerd worden door contact met gemeentes en parkmanagers van bedrijventerreinen. Doordat één afnemer soms genoeg kan zijn voor een rendabel systeem, is het belangrijk om alle (grote) vragers in beeld te krijgen. Voor dit onderzoek zijn niet alle gegevens beschikbaar gesteld aan de onderzoekers.
Ecologie	Ecologie kan op dit moment niet specifiek in het afwegingskader, door gebrek aan onderzoek aan huidige TEO-projecten. Voor projecten in onder andere natura 2000 gebieden zal de kans op vergunnen van een TEO-project hierdoor kleiner zijn. Monitoring bij gerealiseerde projecten kan ervoor zorgen dat dit in de toekomst wel kan worden meegenomen in het afwegingskader.

6.3 Ontwerpinvloed op realisatie TEO-systeem

Voor toekomstige projecten en projecten waar momenteel nog ontwerpruimte is kan vooraf rekening worden gehouden met een aantal aspecten uit het afwegingskader, zie tabel 13. Op deze manier kunnen meer diepe plassen geschikt worden gemaakt voor een TEO-systeem.

Tabel 13 Ontwerpinvloed diepe plassen voor TEO-projecten

Buitendijkse ligging	Een hoogwatervrij terrein kan worden gerealiseerd, zodat het geschikt is voor een technische ruimte (Wijnia & Niewold, 2020). Doorgang door de dijk of onder de dijk combineren met een doorgang voor andere kabel en leiding om de prijs te verlagen (Pothof, 2020).
Energievraag	Oppervlaktewater is een bron voor energie die hard nodig is bij nieuwe wijken. Hierdoor kan het nieuwe wijken aantrekken, maar kan een nieuwe wijk ook een mogelijke plek zijn voor grondstofwinning voor het creëren van een plas (Wijnia & Niewold, 2020; Wijnia & Schuitemaker, 2020). Vattenfall merkt dat de vraag naar koude vanuit grote steden aantrekt. Na Amsterdam zijn nu ook andere steden geïnteresseerd (Veen, 2020).

6.3.1 Aandachtspunten vervolgtraject TEO-projecten

In deze paragraaf worden aandachtspunten ten aanzien van het realiseren van een TEO-project behandeld. Deze punten zijn veelal uit interviews naar voren gekomen en zijn essentieel bij de vervolgstappen van de realisatie van het TEO-systeem, zie tabel 14. Belangrijk hierbij is dat per locatie naar alle facetten wordt gekeken van het TEO-systeem, aangezien alle onderdelen per locatie anders zijn in de toepassing en de hydrologische en ecologische aspecten per locatie zullen verschillen.

Tabel 14 Aandachtspunten vervolgtraject TEO

Geschikte afnemers	Minimaal label C nodig met ruimteverwarming van maximaal 70 graden bij afnemers. Bij een hogere temperatuur is het systeem niet langer efficiënt en financieel rendabel. Bij bedrijven is vaak een individuele warmtepomp toegepast, in een woonwijk vaak een centrale warmtepomp (Wijnia & Niewold, 2020).
Vergelijking met duurzame alternatieven	Bij toepassing van een duurzaam energiesysteem is vergelijken met alternatieven belangrijk. Op sommige plekken is TEO duur, maar wanneer de alternatieven nog duurder blijken te zijn kan TEO alsnog een goede optie zijn. (Wijnia & Niewold, Interview If Technology, 2020) (Veen, 2020).
Samenwerking	Bij de aanleg van een TEO-systeem met distributie zijn veel verschillende partijen betrokken. Een vroege communicatie en samenwerking met deze partijen is bevorderlijk voor de haalbaarheid van het TEO-systeem (Ilbrink & De Vries, 2020). Belangrijke partijen zijn; • Eigenaar van de plas, in dit geval Dekker zelf; • Waterschap/Rijkswaterstaat voor gebruik van oppervlaktewater; • Gemeente voor mogelijkheden warmtenet; • Organisatie voor energielevering, bijvoorbeeld Vattenfall.

6.3.2 Toekomstperspectief financiële situatie

De huidige koudevraag in Nederland is een stuk kleiner dan de warmtevraag (Wijnia & Niewold, 2020) en komt voornamelijk van koeling voor kantoorgebouwen, ziekenhuizen, winkels en de (voedselverwerkende) industrie (CE Delft, sd). De verwachting is dat de koudevraag toeneemt. Dit is gebaseerd op de klimaatmodellen tot 2050, waarin een toename van het aantal zomerse dagen ($>25^{\circ}\text{C}$) van 21 in 2019 tot mogelijk 49 dagen in 2085. Dit kan in de (groeierende) stedelijke gebieden nog tot twee keer toenemen door het Heat Island effect (Klimaatverbond, sd; NOS nieuws, 2019). Hiernaast verbetert de isolatie van woningen, wat om meer comfortkoeling vraagt. De vraag naar warmte zal daarbij steeds meer afnemen en vragen om lagere temperaturen (Van Bulderen, 2020; Netwerk Aquathermie & Deltares, 2020).

Verder vindt een stijging plaats in het aandeel 65-plussers onder de bevolking van circa 3,16 miljoen in 2017 naar circa 4,76 miljoen in 2050, dit is een stijging van bijna 50%. Deze groep is extra kwetsbaar voor hoge temperaturen. Er is echter geen actuele inventarisatie van de daadwerkelijk afgenomen koude in woningen met een koelvoorziening (W/E adviseurs, 2018).

7 Conclusie, discussie & aanbevelingen

De uit het onderzoek volgende conclusie is weergegeven in dit hoofdstuk. De discussie en aanbevelingen die hieruit volgen geven de validatie van het onderzoek weer.



7.1 Conclusie

De bevindingen vanuit de deelvragen leiden tot de beantwoording van de hoofdvraag van voorliggend afstudeeronderzoek. De beantwoording van de hoofd- en deelvragen zijn hieronder toegelicht.

Hoofdvraag: Aan welke voorwaarden moeten diepe plassen en hun omgeving voldoen om geschikt te zijn voor de toepassing van een TEO-systeem?

Uit het onderzoek is gebleken dat het mogelijk is om een TEO-systeem toe te passen in diepe plassen, waarbij mogelijk een gering effect optreedt op de hydrologie en ecologie. Door de in- en uitlaat op de goede hoogte te positioneren kunnen nadelige effecten grotendeels voorkomen worden.

De belangrijkste voorwaarden hebben betrekking op de financiële haalbaarheid (afstand en vraagdichtheid) en de hydrologie (diepte, energiepotentieel en ligging). Over ecologische effecten is momenteel te weinig bekend om voorwaarden voor op te stellen. De voorwaarden staan nader toegelicht onder deelvraag 4 en 5. Essentieel hierbij is dat per locatie onderzoek moet plaatsvinden naar de huidige of gewenste situatie.

Deelvraag 1: Wat zijn mogelijke technieken voor de winning en opslag van warmte- en koude-energie vanuit oppervlaktewater?

Voor de winning van thermische energie uit oppervlaktewater (TEO) is een verschil te maken tussen directe winning of winning in combinatie met opslag. Essentieel in het TEO-systeem zijn een voldoende grote bron van oppervlaktewater, pompen en een warmtewisselaar en eventueel een opslaglocatie. De meest gebruikelijke en gerealiseerde opslag is een WKO in de ondergrond. Voor de installaties en opslag is een technische ruimte nodig tussen het wateroppervlak en de afnemers oplopend tot 100 m².

Deelvraag 2: Welke hydrologische en ecologische omgevingsaspecten van diepe plassen hebben invloed op of worden beïnvloed door de warmte- en koudewinning?

De effecten van het TEO-systeem op de hydrologie en ecologie bij bestaande projecten in Amsterdam is gering, mits de in- en uitlaat op de goede hoogte qua watertemperatuur worden geplaatst. Chemisch-ecologisch kunnen risico's ontstaan voor bijvoorbeeld algengroei wanneer de plas een voedselrijke onderlaag heeft die boven in de plas retour komt. Hier zijn technische oplossingen voor toegepast in uitgevoerde TEO-systemen.

De invloed van de hydrologische en ecologische situatie op het TEO-systeem zijn groter. De hydrologische situatie verschilt erg tussen binnendijkse en buitendijkse locaties. Door (drijvende) obstakels in het water, waterstandsverschillen en mogelijk meestromen met hoogwater zal het systeem buitendijs robuuster moeten worden ontworpen. Hiernaast is een droge locatie voor de technische ruimte en de distributienetwerken door de dijk een extra uitdaging ten opzichte van binnendijkse ligging. De ecologie beïnvloedt voornamelijk de inlaat van het TEO-systeem. Door aangroei van algen en planten kan het systeem verstopt raken.

Deelvraag 3: Hoe worden de kosten en baten van een TEO-systeem beïnvloed door de locatie?

De installatiekosten voor het oppervlaktewatersysteem variëren tussen €90.000 - €150.000 en zijn niet afhankelijk van de locatie. Voor een WKO bedragen de installatiekosten minimaal €100.000,-. De andere onderdelen van het TEO-systeem zijn zeer afnemer-afhankelijk. Hierdoor kan er geen algemene uitspraak worden gedaan over de investeringskosten. De onderhoudskosten bedragen 2,5% per jaar van de investeringskosten. Bij warmtepompen wordt een percentage van 5% per jaar van de investeringskosten gerekend voor onderhoud. Voor warmtelevering is de vraagprijs door de overheid vastgesteld op €26,06 per GJ, incl. btw. Het tarief voor het leveren van koude wordt momenteel nog niet gereguleerd door de overheid.

Deelvraag 4: Welke voorwaarden zijn van belang voor de afweging van een mogelijk TEO-systeem bij de diepe plassen van Dekker?

Voor het afwegingskader is een selectie gemaakt uit de verschillende voorwaarden op basis van de toetsbaarheid en de bekende gegevens van de plassen, zie tabel 15. Verder zijn hierbij de voorwaarden meegenomen die niet beïnvloed kunnen worden.

Tabel 15 Voorwaarden inpassing TEO bij diepe plassen

Voorwaarde	Beschrijving
Hydrologie	<i>Voor koude-energie moet de plas minimaal 18 meter diep zijn en het volume onder deze grens moet minimaal $1 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ zijn.</i>
	<i>Volume moet minstens $1 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ zijn om een TEO-installatie op gewenste schaal te plaatsen.</i>
	<i>Verbinding met ander oppervlaktewater is gewenst om de capaciteit van warme en koude-energie verhogen.</i>
Financieel	<i>De afstand tot bedrijven en utiliteitsgebouwen mag maximaal 2500 meter bedragen.</i>
	<i>De afstand tot bedrijven en utiliteitsgebouwen mag maximaal 2500 meter bedragen.</i>
	<i>De afstand tot bedrijven en utiliteitsgebouwen mag maximaal 2500 meter bedragen.</i>
Overig	<i>De omgeving van de diepe plas biedt mogelijkheid aan een WKO-installatie binnen een straal van één kilometer vanaf de TEO-installatie.</i>
	<i>Binnendijkse plaatsing van de TEO-installatie heeft technisch voordeel boven buitendijkse plaatsing.</i>

De locaties met de hoofste potentie zijn de Willemspolder fase 1 en de Bomhofspas. Opvallend is dat beide locaties een andere hydrologische situatie hebben, waarbij de Willemspolder buitendijks ligt en de Bomhofspas binnendijks.

Deelvraag 5: Welke voorwaarden en aandachtspunten komen naar voren na een verdere uitwerking van twee potentiële TEO-locaties?

De pilotstudie met de hoogst scorende locaties geeft een verdieping van het afwegingskader en de benodigde vervolgstappen. De volgende voorwaarden kunnen verder worden gespecificeerd in het afwegingskader na de pilotstudie:

- Ligging buitendijks;
- Energievraag;
- Ecologie.

Daarnaast zijn vanuit de interviews verschillende aandachtspunten naar voren gekomen wanneer gevorderd wordt met het uitvoeren van een TEO-project en is een toekomstperspectief voor de financiële situatie gevormd. Het toekomstperspectief is positief door toename van vraag naar koude-energie en laagtemperatuur warmte. Uit de verschillende aandachtspunten komt dat per locatie specifiek moet worden gekeken naar de effecten, doordat de hydrologische en ecologische situatie per plas anders is. Hiernaast is samenwerking met verschillende partijen en vergelijking met duurzame alternatieven essentieel.

7.2 Discussie

In deze paragraaf wordt ingegaan op de validiteit van het onderzoek, de reproduceerbaarheid, de gebruikte methodes en de resultaten die naar voren zijn gekomen. Het onderzoek naar de randvoorwaarden voor een TEO-systeem in diepe plassen is voornamelijk uitgevoerd door middel van literatuuronderzoek en interviews. De onderzoeksmethodes zijn behandeld in paragraaf 1.5, methodiek, van dit rapport.

Een groot deel van het onderzoek is gebaseerd op literatuurstudie en theorie. Door gebrek aan informatie over uitgevoerde TEO-projecten zijn er veel aannames gedaan in het onderzoek. Dit kan ervoor zorgen dat de uitkomsten uit het onderzoek kunnen verschillen met de praktijksituaties. De gebruikte gegevens zijn veelal wel toepasbaar op enkele gevolgen van TEO, maar een combinatie van de verschillende gevolgen in de situatie van een diepe plas kan hier verschil in geven. De verwachting is dat door opkomst van TEO-projecten in heel Nederland hier meer onderzoek naar zal worden gedaan.

Voor het onderzoek zijn meerdere interviews gehouden. Uitkomsten uit de verschillende interviews zijn opvattingen van de ondervraagden. Andere partijen kunnen een ander standpunt hebben met betrekking tot de TEO-systemen, hydrologische en ecologische omgevingsaspecten en haalbaarheid.

Toetsing van de hydrologische en ecologische effecten is momenteel maar beperkt mogelijk door gebrek aan modellen en data om deze modellen te kunnen valideren. Vanuit Deltares is recent D-Hydro Suite beschikbaar gekomen waarmee de effecten van een TEO-systeem op het oppervlaktewatersysteem in beeld gebracht kan worden. Door tijdgebrek is bij het bepalen van de effecten op het oppervlaktewatersysteem geen gebruik gemaakt van dit model. Het model kan meer inzicht geven over de mogelijke effecten.

Ten tijde van het onderzoek was de exacte inrichting van de Willemspolder fase 1 nog niet vastgelegd. Hierdoor kunnen in de toekomst nieuwe kansen ontstaan op het gebied van onder andere meer potentiële winbare energie, meekoppelkansen en afnemers. In de ontwerpoptimalisaties kan nog gestuurd worden op TEO.

In het onderzoek zijn voor de berekening van de vraag van de potentiële afnemers gebruik gemaakt van kengetallen, maar zijn ook aannames gedaan. In de pilot is contact opgenomen met de betreffende gemeenten. Zij beschikken over gegevens voor het gas- en elektriciteitsverbruik, maar konden deze om verschillende redenen niet delen voor dit onderzoek. De werkelijk vraag van de potentiële afnemers kan anders uitvallen dan in dit rapport is vermeld, waardoor de financiële haalbaarheid kan verschillen.

7.3 Aanbevelingen

Tijdens het onderzoek zijn een aantal onzekerheden naar voren gekomen. Door middel van de aanbevelingen wordt een oplossing of alternatief geboden ter optimalisatie en verdieping van het onderzoek en het TEO-systeem bij diepe plassen.

Voor het gehele onderzoek geldt dat momenteel weinig onderzoek is gedaan naar de effecten van een TEO-systeem op het Nederlandse watersysteem. Nader onderzoek bij uitgevoerde TEO-projecten zal nodig zijn om de effecten op hydrologische en ecologische aspecten inzichtelijk te maken. Hierbij is het belangrijk om voor de installatie al op locaties te meten wat de huidige waarden zijn, om het effect van TEO goed in beeld te brengen.

Een belangrijk onderdeel van diepe plassen is de stratificatie. De winning van warmte-energie kan roering ontstaan van de epilimnion en spronglaag, waardoor temperatuurdaling van de oppervlaktewaterlaag ontstaat. Hierdoor is de potentieel winbaar warmte-energie mogelijk lager dan nu berekend in het onderzoek. Nader onderzoek kan worden uitgevoerd door temperatuurmetingen in de plas op verschillende dieptes.

Voor de uitwerking is nader onderzoek nodig naar de specifieke situatie per plas voor de kosten en baten, waar nu nog aannames voor zijn gedaan. Hiervoor kan contact worden opgenomen met de gemeenten Neder-Betuwe en Zwolle en de parkmanager van de Hessenpoort te Zwolle om een meer specifieke financiële afweging te maken.

Voor het technische systeem zijn nadere onderzoeken mogelijk ter optimalisatie van het TEO-systeem. Zo zijn warmtewisselaars bij koudewinning vaak niet efficiënt. Voor koudewinning wordt het water bij voorkeur onttrokken op 5°C en teruggeleverd met 20°C. Vanuit plassen van Vattenfall is gebleken dat de retourtemperatuur echter zelden zoveel opwarmt, doordat het systeem nog geoptimaliseerd moet worden. Hierdoor moeten de distributiebuisen een zeer grote diameter hebben. Door nader onderzoek kunnen de kosten van het distributiesysteem mogelijk verlaagd worden.

Wanneer het TEO-systeem met opslag wordt toegepast, kan mogelijk gebruik worden gemaakt van een 'smartsysteem'. Hierbij wordt bij hoge energieopbrengst (dus vaak lage kosten) vanuit zonnepanelen en windmolens het systeem aangezet voor warmtewinning. De hoge energieopbrengst valt vaak samen met de winningsperiode van warmte. Dit is echter alleen mogelijk bij een overdimensionering van het pompsysteem, omdat de pomp niet continu werkt. De afweging tussen over dimensionering en verlaagde kosten voor elektriciteit dienen nader onderzocht te worden.

Begrippenlijst

Begrip/afkorting	Verklaring
Aquathermie	Verzamelaam voor de winning, opslag en distributie van warmte en/of koude uit riool-, afval-, drink-, en oppervlaktewater.
Biocide	Een stof die ingezet wordt om schadelijke organismen te bestrijden.
CAPEX	CAPEX staat voor Capital Expenditures en wordt ook wel de investeringskosten genoemd.
Diepe plas	Plassen die een gelaagdheid in de waterkolom vertonen gedurende de zomer, waarbij water met een lage dichtheid drijft op water met een hogere dichtheid.
Distributienet	Het netwerk van leidingen na de technische ruimte die warmte en koude transporteren van en naar de afnemers.
DMA	DMA oftewel DMA Mineralaufbereitung is een project in Duitsland waar Dekker grondstoffen wint.
Epilimnion	Deze laag is drie tot acht meter diep en bevat het meeste (bodem)leven. Bij een toenemende omgevingstemperatuur en afname van de windsnelheden, zal de watertemperatuur geleidelijk toenemen.
Hypolimnion	Deze waterlaag heeft een stabiele temperatuur van 4-8°C en is permanent aanwezig vanaf achttien meter diepte. Het wordt ookwel de koudewaterlaag genoemd en bevindt zich onderin de plas. Door gebrek aan zonlicht en zuurstof bevat deze laag weinig (bodem)leven.
Geothermie	Geothermie is aardwarmte dat dieper dan 500 meter onder maaiveld gewonnen wordt.
GJ	Gigajoule. Eén gigajoule is 10 ⁶ joule.
LGR	LGR oftewel Les Gravières Rhénanes is een project in Frankrijk waar Dekker grondstoffen wint.
M.e.r.	M.e.r. staat voor milieueffectrapportage. In deze rapportage worden de milieueffecten van een plan in beeld gebracht.
Metalimnion	De middelste waterlaag en wordt ook wel de sprong laag genoemd. Het vormt een overgang van de warme bovenlaag naar de koude onderlaag. Wordt gekenmerkt door een sterke temperatuurgradiënt van 1°C/m of groter en bevindt zich op zes tot tien meter diepte.
OPEX	OPEX staat voor Operating Expenditures en wordt ook wel de operationele of onderhoudskosten genoemd.
Smart Polder	Een variant van thermische energiewinning uit oppervlaktewater waarbij gebruik wordt gemaakt van aanwezige kunstwerken, zoals gemalen en stuwen om de warmte en/of koude te onttrekken.

Thermische kortsluiting	Deze vorm van kortsluiting treedt op wanneer de temperatuur in de onttrekkingsbel toe of afneemt doordat er een wisselwerking optreedt tussen de onttrekkings- en lozingsbel.
TEO	Thermische energie uit oppervlaktewater is een vorm van duurzame energieopwekking.
WKO	Warmte- en koudeopslag is een vorm van energieopslag in de bodem. Hierbij wordt grondwater in dieperliggende bodemlagen benut als energiebuffer.
Vraagdichtheid	De jaarlijkse vraag van warmte of koude in gigajoule per hectare.

Bibliografie

- Autoriteit Consument & Markt. (sd). *Wat mag ik vragen voor het leveren van warmte?* Opgeroepen op mei 10, 2020, van ACM: <https://www.acm.nl/nl/warmtetarieven>
- Bakker, W., & Smolders, A. (2011, november). Zuurstoftoevoer legt fosfaat vast in waterbodem. *Land+Water*, 11.
- Bloemers, B. (2020a, maart 23). Interview Duurzaam Opgewekt. (N. Braas, & C. Hazeu, Interviewers)
- Bloemers, B. (2020b, april 30). Uitwerking gesprek financieel hoofdstuk. (C. Hazeu, Interviewer)
- Boehrer, B., & Schultze, M. (2008). *Stratification of lakes*. Magdeburg, Duitsland: Helmholtz Centre for Environmental Research.
- CBS, PBL, RIVM, WUR. (2018, december 13). *Temperatuur oppervlaktewater, 1910-2017*. Opgeroepen op maart 6, 2020, van Compendium voor de Leefomgeving: <https://www.clo.nl/indicatoren/nl0566-temperatuur-oppervlaktewater>
- CE Delft. (sd). *Warmtevraag en -productie*. Opgeroepen op maart 23, 2020, van CE Delft: <https://www.ce.nl/warmte-en-koeling>
- De Lange, W. J. (2011). *Handreiking geohydrologische beoordeling bij herinrichting van diepe plassen*. Deltares. Opgehaald van https://www.bodemplus.nl/publish/pages/92571/handreiking_geohydrologische_beoordeling_bij_herinrichting_van_diepe_plassen_20110216.pdf
- Dekker Groep. (2020). *Jaarboek 2019*. IJzendoorn. Opgehaald van www.deknergroep.nl
- Dekker Groep. (sd).
- Energie Coöperatie Duurzaam Heeg. (sd). *De techniek*. Opgeroepen op maart 6, 2020, van Warm heeg: <https://warmheeg.nl/de-techniek/>
- Gelderman, E., & Scholten, B. (2017). *Potentieel thermische energie uit oppervlaktewater (TEO)*. Waterschap Rijn en IJssel.
- Hazeu, C. (2020). Eigen gemaakte foto's plassen Dekker.
- IKSR. (2012). *Warmte-uitwisselingsprocessen*. Opgeroepen op maart 2020, van www.iksr.org: <https://www.iksr.org/nl/themas/rijn/waterkringloop/warmte-uitwisselingsprocessen/>
- Ilbrink, M., & De Vries, K. (2020, maart 9). Uitwerking gesprek Blauwvinger Energie Zwolle. (N. Braas, & C. Hazeu, Interviewers)
- IPCC. (2014). *Samenvatting voor beleidsmakers*. Bilt: Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut. Opgehaald van <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/ar5-wg1-spmddutch.pdf>
- Jacobs, C., de Lange, M., & Boderie, P. (2017). *Deltafact: Ecologische effecten koudwaterlozingen*. Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer. Opgehaald van <https://www.stowa.nl/deltafacts/zoetwatervoorziening/verzilting/ecologische-effecten-koudwaterlozingen>
- Kerkum, L., Bij de Vaate, A., Bijstra, D., De Jong, S., & Jenner, H. (2004). *Effecten van koelwater op het zoet aquatische milieu*. Lelystad: Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling.
- Kleiweg, E., & De Co, W. (2018). *Handreiking Aquathermie*. Amersfoort: STOWA. Opgehaald van <https://www.stowa.nl/publicaties/handreiking-aquathermie>

- Klimaatverbond. (sd). *Koeltebehoefte*. Opgeroepen op maart 31, 2020, van Klimaatverbond Nederland: <https://www.klimaatverbond.nl/thema/koeltebehoefte>
- KNMI. (2013, september 27). *IPCC: Klimaatverandering zet door*. Opgeroepen op februari 12, 2020, van KNMI: <https://www.knmi.nl/over-het-knmi/nieuws/ipcc-klimaatverandering-zet-door>
- Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut. (sd). *Energiebalans van de aarde*. Opgeroepen op mei 8, 2020, van KNMI: https://www.aquathermie.nl/praktijk/kansen+voor+nieuwe+initiatieven/default.aspx#een_ekenvoorbeeld_hoeveel_oppervlaktewater_heb_ik_nodig
- Koninklijk Nederlands Waternetwerk. (2015, juni 26). *Kansenkaart voor energie uit oppervlaktewater*. Opgeroepen op maart 6, 2020, van H2O: <https://www.h2owaternetwerk.nl/vakartikelen/kansenkaart-voor-energie-uit-oppervlaktewater>
- Kruit, K., Schepers, B., Roosjen, R., & Boderie, P. (2018). *Nationaal potentieel van aquathermie*. CE Delft. Delft: CE Delft. Opgehaald van <https://www.stowa.nl/sites/default/files/assets/PROJECTEN/Projecten%202016/project449.003%20thermische%20energie/Rapport%20Nationaal%20potentieel%20van%20aquathermie.pdf>
- Middelbrink, R. C. (2015). *Lake Source Cooling Leemslagenplas*. Opgehaald van <https://hbokennisbank.nl/details/samhao:oai:www.samhao.nl:VBS:2:138983>
- Milieu centraal. (2020). *Gemiddeld energieverbruik*. Opgeroepen op maart 25, 2020, van Milieu centraal: <https://www.milieucentraal.nl/energie-besparen/snel-besparen/grip-op-je-energierekening/gemiddeld-energieverbruik/>
- Milieu Centraal. (sd). *Klimaatverandering*. Opgeroepen op februari 10, 2020, van Milieu Centraal: <https://www.milieucentraal.nl/klimaat-en-aarde/klimaatverandering/>
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat. (2004). *CIW beoordelingssystematiek warmtelozingen*. Ministerie van Verkeer en Waterstaat.
- Nationaal Expertisecentrum Warmte. (2013, januari). *Warmte en koude in Nederland*. Opgehaald van RVO.
- Nederlands instituut voor ecologie. (sd). *Hoe werken diepe plassen?* Opgeroepen op maart 18, 2020, van NIOO: <https://nioo.knaw.nl/nl/achtergrond>
- Netwerk Aquathermie & Deltares. (2020). *Aquathermie in de praktijk: eerste conclusie en inzichten*. Netwerk Aquathermie. Opgehaald van <https://www.aquathermie.nl/bibliotheek/handlerdownloadfiles.ashx?idnv=1563686>
- Netwerk Aquathermie. (sd). *Kansen voor nieuwe initiatieven*. Opgeroepen op april 12, 2020, van [www.aquathermie.nl](https://www.aquathermie.nl/praktijk/kansen+voor+nieuwe+initiatieven/default.aspx#een_ekenvoorbeeld_hoeveel_oppervlaktewater_heb_ik_nodig): https://www.aquathermie.nl/praktijk/kansen+voor+nieuwe+initiatieven/default.aspx#een_ekenvoorbeeld_hoeveel_oppervlaktewater_heb_ik_nodig
- Niewold, F. (2018). *Thermische Energie uit Oppervlaktewater - Business case "Genderdal"* Eindhoven. IF Technology.
- NOS nieuws. (2019, juli 30). *Klimaatverbond: airco's frustreren doelstellingen Klimaatakkoord*. Opgeroepen op maart 31, 2020, van NOS: <https://nos.nl/artikel/2295688-klimaatverbond-airco-s-frustreren-doelstellingen-klimaatakkoord.html>
- Osté, A., Jaarsma, N., & Van Oosterhout, F. (2010). *Een heldere kijk op diepe plassen*. Amersfoort: Libertas. Opgehaald van

- https://www.bodemplus.nl/publish/pages/92571/een_heldere_kijk_op_diepe_plassen_24_346429.pdf
- Pothof, I. (2020, april 15). Interview Deltares. (N. Braas, & C. Hazeu, Interviewers)
- QGIS. (2020, maart). QGIS. Opgeroepen op mei 2020
- RebelGroup Energie B.V. (2018, juni 7). TEO-cockpit. *TEO_financiele_cockpit_2d*. Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer. Opgehaald van <https://www.stowa.nl/onderwerpen/circulaire-economie/producen-van-energie-om-aquathermie/thermische-energie-uit#1634>
- Rijksdienst voor Ondernemend Nederland. (2020). *WKO-bodemenergietool*. Opgeroepen op april 18, 2020, van wkotool.nl: [https://wkotool.nl/](http://wkotool.nl)
- Rijksdienst voor Ondernemend Nederland. (sd). *Warmtepomp*. Opgeroepen op februari 7, 2020, van RVO: <https://www.rvo.nl/onderwerpen/duurzaam-ondernemen/duurzame-energie-opwekken/verduurzaming-warmtevoorziening/warmtepompen>
- Rijksoverheid. (2019). *Klimaatakkoord*. PDF, Den Haag. Opgehaald van <https://www.klimaatakkoord.nl/documenten/publicaties/2019/06/28/klimaatakkoord>
- Rijkswaterstaat. (2020, april 8). Waterhoogte t.o.v. NAP in cm voor 07/04/2015 t/m 07/04/2020. Opgehaald van <https://waterinfo.rws.nl/#!/kaart/waterhoogte-t-o-v-nap/>
- ROM3D & Inenergie. (sd). *Energie uit oppervlaktewater*. Opgeroepen op februari 24, 2020, van Arcgis: <https://www.arcgis.com/apps/MapSeries/index.html?appid=4753396c44b64f27a5f8ca7e0314db4b>
- RTV Oost. (2020, januari 31). *Grootste drijvende zonnepark van Europa wordt gebouwd in Zwolle*. Opgeroepen op februari 11, 2020, van RTV Oost: <https://www.rtvoost.nl/nieuws/325197/Grootste-drijvende-zonnepark-van-Europa-wordt-gebouwd-in-Zwolle>
- Scholten, B., & van der Meer, C. (2016, juli 31). *Landelijke verkenning warmte en koude uit het watersysteem*. Opgehaald van Unie van waterschappen: <https://www.uvw.nl/wp-content/uploads/2016/10/IF-Technology-Onderzoek-potentieel-warmte-koudeopslag-Waterschappen-2016.pdf>
- Scholten, T., Kruit, K., Van de Water, S., Nieuwenhuijse, I., & Wielders, L. (2019). *Duurzame energie projectgebied Grebbedijk*. Delft: CE Delft. Opgehaald van https://grebbedijk.com/images/downloads/VKA/Duurzame_Energie_Projectgebied_Grebbedijk.pdf
- STOWA. (2020). *Potentie Aquathermie*. Opgeroepen op april 25, 2020, van stowa.geapps.nl: <https://stowa.geapps.nl/Overzichtskaart?permalink=3514fc3011aa4a6295f6a2030afccbe7>
- SWECO. (2018). *Geohydrologisch onderzoek verondieping*. Arnhem: Dekker.
- Tomassen, H., & Smolders, F. (2018). *Oxidatie van het hypolimnion als defosfateringssysteem in de Ouderkerkerplas: monitoring 2017, concept rapportage*. B-Ware.
- Van Bulderen, R. (2020, april 2). Interview Vattenfall. (N. Braas, & C. Hazeu, Interviewers)
- Van der Grinten, E., Van Herpen, F., Van Wijnen, H., Evers, C., S., W., & Verweij, W. (2007). *Afleiding maximumtemperatuurnorm goede ecologische toestand (GET) voor Nederlandse grote rivieren*. Bilthoven: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu.
- Van Mierloo, T., & Holtrust-Westerbeek, J. (2019). *Herinrichting Willemspolder Fase 1; Notie over de inhoud van de milieueffectrapportage*. Dekker Grondstoffen B.V.
- Van Uden, J. (2018). *Zandwinning Zwolle; geohydrologisch onderzoek verondieping*. Arnhem: Sweco.

- Vattenfall. (2020). *Tarieven Comfortkoeling 2020*. Opgeroepen op maart 30, 2020, van Vattenfall: <https://www.vattenfall.nl/media/consumenten/producten/koude/tarieven-2020/tarieven-comfortkoeling-amsterdam-houthaven-2020.pdf>
- Vattenfall. (sd). *Duurzame koeling uit Ouderkerkerplas*. Opgeroepen op april 25, 2020, van Vattenfall: <https://www.vattenfall.nl/duurzame-energie/stadswarmte/schoner-water-en-minder-co2-door-koudewinning/>
- Veen, T. (2020, april 3). Interview Timo Veen. (N. Braas, & C. Hazeu, Interviewers)
- W/E adviseurs. (2018). *Ontwikkeling van koudevraag van woningen*. Utrecht: Rijksdienst voor Ondernemend Nederland. Opgehaald van <https://www.rvo.nl/sites/default/files/2018/07/Rapport%20-%20Ontwikkeling%20koudevraag%20van%20woningen%20.pdf>
- Waterforum. (2019, september 16). *Dringende behoefte aan beleid voor aquathermie*. Opgeroepen op april 4, 2020, van Waterforum: <https://www.waterforum.net/dringende-behoefte-aan-beleid-voor-aquathermie/>
- Wijnia, A., & Niewold, F. (2020, maart 17). Interview If Technology. (N. Braas, & C. Hazeu, Interviewers)
- Wijnia, A., & Schuitemaker, J. (2020, mei 11). *Aquathermie Webinar*. Opgeroepen op mei 25, 2020, van IF Technology: https://www.iftechnology.nl/media/downloads/vragen_en_antwoorden_webinar_aquathermie.pdf