

Thermische Energie uit Oppervlaktewater

Business case "Dordtse Kil IV" Dordrecht





Datum 12 december 2017
Referentie 67149/MaK/20171212
Betreft Thermische Energie uit Oppervlaktewater - Business case "Dordtse Kil IV" Dordrecht
Behandeld door de heer F. Niewold
Gecontroleerd door de heer B. Scholten
de heer M. Koenders
Versienummer Definitief 1.1

OPDRACHTGEVER

Unie van Waterschappen
de heer R. Romijn
Postbus 93218
2509 AE Den Haag
T 070 - 456 1571
rromijn@uvw.nl

INHOUDSOPGAVE

1 Samenvatting	4
2 Inleiding	8
2.1 Algemeen	8
2.1.1 Achtergrond	8
2.1.2 Uitrol strategie TEO	8
2.1.3 Casus: Dordtse Kil IV	9
2.2 Plan van Aanpak	9
2.2.1 Selecteren van kansrijke locaties	9
2.2.2 Inventarisatie gebiedskenmerken en belanghebbenden	9
2.2.3 Verkenning business case	10
2.2.4 Verdiepingsfase	10
2.2.5 Projectrealisatie en exploitatie	10
2.3 Doelstellingen casussen	10
2.3.1 Algemene doelstellingen	10
2.3.2 Doelstellingen casus: Dordtse Kil IV	10
Dordrecht	10
2.4 Leeswijzer	11
3 Inventarisatie	12
3.1 Stakeholderanalyse	12
3.2 Kenmerken Gebied en gebouwen	12
3.3 Kenmerken watersysteem	16
3.4 Kenmerken bodem	19
3.5 Klimaatadaptie	23
3.6 Omgevingsbelangen	24
3.6.1 Juridische belangen	24
4 Business case	25
4.1 Energieconcepten	25
4.2 Schetsontwerp	30
4.3 Impact leefomgeving	33
4.4 Financiële analyse	33
4.5 Duurzaamheid	40
5 Conclusies en aanbevelingen	43
5.1 Technische en energetische haalbaarheid	43
5.2 Ruimtelijke inpassing	44
5.3 Financiële haalbaarheid	45
5.4 Spoorboekje	45
6 Referenties	47
7 Afkortingen	49
Bijlage 1 Conceptbeschrijvingen TEO/Smart polder	50
7.1 PRINCIPE SMART POLDER - TEO	50
7.2 Principe Warmte- en Koude Opslag (WKO)	54
7.3 Koude uit diepe plassen	55
Bijlage 2 Energieconceptvorming gebouwinstallatie	57

1 Samenvatting

Uitgangspunten

Deze business case is uitgevoerd om inzicht te krijgen in de technische en financiële haalbaarheid van thermische energie uit oppervlaktewater (TEO) in combinatie met warmte- en koude opslag (WKO). De business case is toegepast op de “Dordtse Kil IV” in Dordrecht (zie Figuur 1.1). De Dordtse Kil IV wordt gekenmerkt door een nieuw te ontwikkelen duurzaam bedrijventerrein met een aantrekkelijk vestigingsklimaat voor logistieke dienstverleners en regionale bedrijven. Voor deze ontwikkeling is een bouwscenario met een mix van opslag, kantoor en industrie aangenomen bestaande uit 43 gebouwen van groot, middel en klein formaat. Vanuit dit uitgangspunt zijn 2 scenario’s doorgerekend: 1) “scenario 1 Dordtse Kil IV - totaal” en 2) “scenario 2 Dordtse Kil IV - groot gebouw”. In scenario 1 is gekeken of het mogelijk is om het totale gebied met WKO + TEO van energie te voorzien en in scenario 2 is de haalbaarheid getoetst van een enkel groot gebouw in de buurt van oppervlaktewater. Er is een inschatting gemaakt van de warmtevraag van $-25.000 \text{ MWh}_{\text{th}}$ ($-88.000 \text{ GJ}_{\text{th}}$) per jaar en de koudevraag van $-350 \text{ MWh}_{\text{th}}$ ($-1.300 \text{ GJ}_{\text{th}}$) per jaar voor het totale gebied en de warmtevraag van $-1.750 \text{ MWh}_{\text{th}}$ ($-6.300 \text{ GJ}_{\text{th}}$) en de koudevraag van $-25 \text{ MWh}_{\text{th}}$ ($-90 \text{ GJ}_{\text{th}}$) voor 1 groot gebouw.

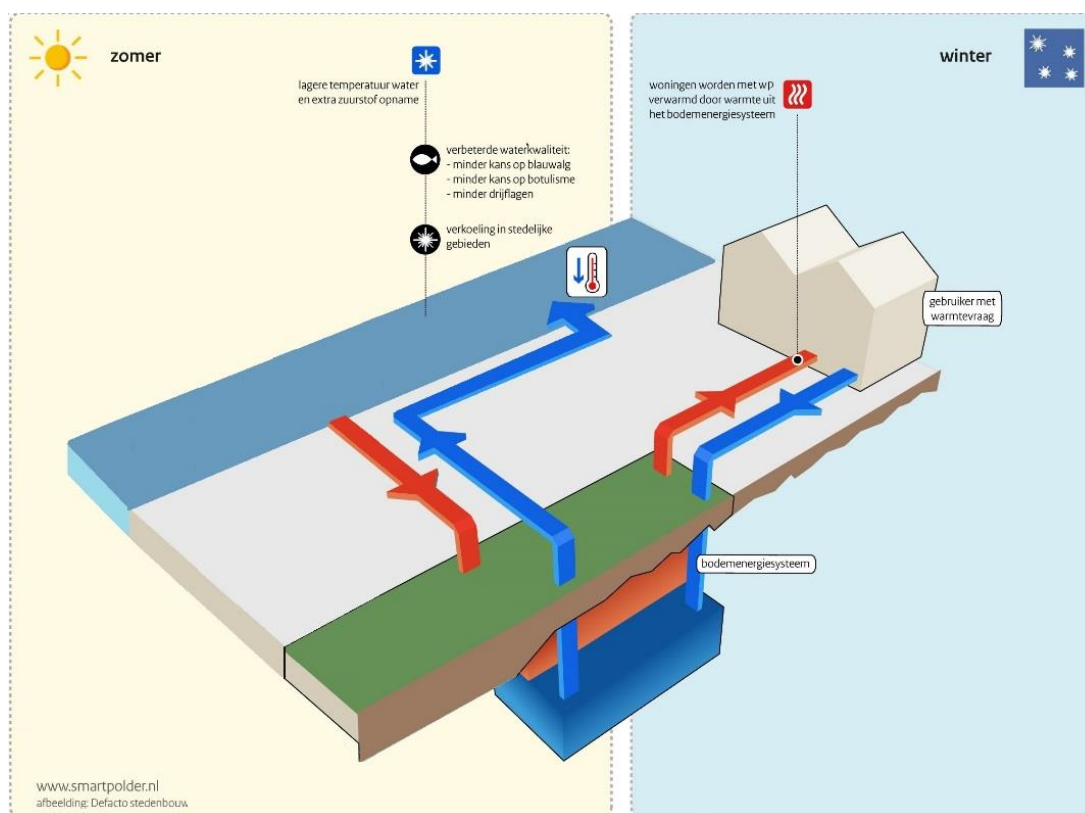
Het oppervlaktewater wordt verkregen uit de rivier de Dordtsche Kil. Het oppervlaktewater nabij de locatie is -250 meter breed en -9 meter diep. De rivier is een getijrivier met een jaargemiddelde stroming richting het noorden van $440 \text{ m}^3/\text{s}$.



Figuur 1.1 | Dordtse Kil IV in Dordrecht. Bron: Google Earth.

Systeemconcept

Thermische energie uit oppervlaktewater (TEO) in de vorm van warmtewinning in de zomer, kan worden omgezet in hoogwaardige warmte met een warmtepomp (WP) voor verwarming van gebouwen of voor de bereiding van warm tapwater. Dit is bijzonder goed toepasbaar bij afnemers met een overwegende warmtevraag, zoals in de Dordtse Kil IV het geval is, en wordt 100% elektrisch opgewekt (aardgasvrij). TEO kan worden aangevuld met een warmte en koudeopslagsysteem in de bodem (WKO) (zie Figuur 1.2).



Figuur 1.2 | Concept TEO: Smart polder, WKO met warmtewinning uit oppervlaktewater.

Als TEO in combinatie met een WKO systeem wordt toegepast, wordt gebruikt gemaakt van het natuurlijke temperatuurverschil tussen het oppervlaktewater in de zomer (circa 18 °C) en de stabiele grondwatertemperatuur (circa 12 °C). In de zomer wordt warmte gewonnen uit het oppervlaktewater en opgeslagen in het bodemenergiesysteem (WKO). Deze warmte kan in de winter uit de bodem worden opgepompt om te dienen als warmtebron voor de warmtepomp. Voor de Dordtse Kil IV is de koudevraag bijna verwaarloosbaar ten opzichte van de warmtevraag en de warmtevraag significant. Hiermee biedt de toepassing van de combinatie van warmtewinning uit oppervlaktewater met een seizoensopslag in een bodemenergiesysteem een zeer interessante en duurzame kans om de wijk te voorzien van de benodigde warmte en koude. De energieonbalans in het WKO systeem die ontstaat bij een overwegende warmtevraag, wordt met het TEO systeem gebalanceerd.

Op basis van de huidige uitgangspunten zijn 14 doubletten (één warme en één koude bron) met een maximaal debiet van 75 m³/h toereikend om alle gebouwen in de Dordtse Kil IV van voldoende warmte en koude te voorzien. Om 1 groot gebouw van warmte en koude te voorzien is 1 doublet van 75 m³/h toereikend. Om de bronnen in de zomer voldoende te kunnen laden is een oppervlaktewatersysteem van maximaal 780 m³/h nodig voor het totale gebied en 58 m³/h voor 1 groot gebouw. Er zijn verschillende systeemconcepten mogelijk. Eén concept (“WKO + TEO concept centraal”) bevat een grondwater gevuld distributienet, WKO bronnennet en oppervlaktewaterleidingen om de gebouwen van de gewenste warmte en koude te kunnen voorzien. Een ander concept (“WKO+ TEO concept decentraal”) bevat een WKO bronnennet die tevens als distributienet fungeert en oppervlaktewaterleidingen. In het geval 1 groot gebouw wordt aangesloten is concept decentraal van toepassing. Dit betekent dat het gebouw zijn eigen WKO systeem en warmtepomp heeft. Ook worden er juridisch gezien geen knelpunten voorzien voor de realisatie van TEO en WKO.

Aandachtspunten voor het bodemenergiesysteem zijn:

- 1 **Zoet-/zoutgrensvlakken:** Bij nieuwe bodemenergiesystemen dient ervoor te worden gezorgd dat er geen sprake is van menging van zoet en brak of zout grondwater en/of verplaatsing van het zoet-/brakgrensvlak.

Duurzaamheid

Door de toepassing van TEO met een oppervlaktewaterdebiet van 780 m³/h kan TEO bijdrage aan de hittestress in een stedelijk gebied in de zomer door water met een temperatuurverschil van 6 °C te lozen. Daarnaast zorgt het aanbieden van duurzame koeling met grondwater voor een directe warmte-emissiereductie van 1.600 GJ_{th} ten opzichte van de warmte uitstoot van traditionele koelers (compressiekoelmachine), waarmee extra hittestress wordt voorkomen. De CO₂ emissiereductie kan ten hoogste (volledig grijs opgewekte stroom) 530 ton/jaar bedragen voor het totale gebied ten opzichte van een all-electric systeem waarbij elk gebouw zijn eigen lucht/water warmtepomp en compressiekoelmachine heeft. In het geval van volledig groen opgewekte elektriciteit is de CO₂ emissie in beide systemen 0.

Financiële haalbaarheid

De financiële haalbaarheid van de WKO + TEO scenario's bij de Dordtse Kil IV is getoetst door een vergelijking te maken met een all-electric systeem (lucht/water warmtepomp en compressiekoelmachine in elk gebouw). De verwachte terugverdientijd is -17 jaar voor 1 groot gebouw met WKO + TEO ten opzichte van een all-electric systeem. Als het totale gebied met WKO + TEO wordt voorzien van warmte en koude is de verwachte terugverdientijd 21 - 28 jaar ten opzichte van het all-electric systeem.

De infrastructuur van de waterleidingen zorgt voor een significante investeringspost. In het geval dat een enkel groot gebouw dicht in de buurt van het oppervlaktewater wordt aangesloten op een WKO + TEO systeem is de terugverdientijd significant lager dan wanneer het totale gebied collectief wordt aangesloten op WKO + TEO. Dit komt omdat de energiedichtheid van het totale gebied relatief laag is, vanwege de grote oppervlakte. Er kan worden geconcludeerd dat individuele toepassing van WKO + TEO dicht in de buurt van oppervlaktewater de meest haalbare oplossing biedt. Echter in het geval er meerdere gebouwen dicht in de buurt van oppervlaktewater zijn, kan een klein collectief systeem de terugverdientijd verkorten ten opzichte van de 17 jaar. Daarnaast kan een optimalisatie van het leidingwerk bij WKO + TEO de business case ook positief beïnvloeden ten gunste van WKO + TEO. Dit zou in een verdiepingfase verder uitgezocht kunnen worden.

Vervolg

De plannen voor de ontwikkeling van de Dordtse Kil IV zijn al in een gevorderd stadium. Hierbij is de toepassing om het gebied duurzaam te ontwikkelen een belangrijk aandachtspunt. De integratie van TEO in combinatie met een WKO systeem heeft een significante meerwaarde in het geval er een thermische onbalans heerst. Hierbij is het wel belangrijk dat TEO op een juiste wijze wordt geïntegreerd in het installatie concept en dat er ruimte in het gebied wordt gereserveerd voor leidingen en bronnen. Voor het vervolg is het van belang dat dit op korte termijn wordt afgestemd met de belanghebbenden.

2 Inleiding

2.1 ALGEMEEN

2.1.1 Achtergrond

Om uitvoering te geven aan het Klimaatakkoord van Parijs zullen er de komende decennia ingrijpende veranderingen plaats moeten vinden in de infrastructuur van de Nederlandse energievoorziening. In het Klimaatakkoord is de afspraak gemaakt om de temperatuurstijging ruim beneden de 2 °C te houden door onder andere de mondiale uitstoot van broeikasgassen met circa 90 procent te reduceren tot 2050 ten opzichte van 1990. In “Energierapport - Transitie naar duurzaam” is zelfs aangekondigd dat de ruimteverwarming in Nederland CO₂-vrij moet zijn in 2050 (EZ, 2016). De lange levensduur en afschrijftermijnen van energievoorzieningen maken het een prioriteit om zo snel mogelijk met de energietransitie te beginnen (PBL, 2017). De energietransitie is een beleidsplan van de overheid om van fossiele brandstoffen naar volledig duurzame energiebronnen over te stappen. De komende decennia zullen de verouderde gasleidingen aan vervanging toe zijn. Hierin ligt een grote kans om een transitie van fossiele warmtelevering naar duurzame warmtelevering te bewerkstelligen.

Eén van de alternatieven voor ruimteverwarming en -koeling is een WKO systeem. De geschiktheid van een WKO systeem is afhankelijk van de balans tussen de warmte- en koudevraag van de gebouwen. Vooral combinaties van goed geïsoleerde woningen (warmtevraag) en bedrijfsmatig gekoelde gebouwen (koudevraag), zoals kantoren en datacenters zijn uitermate geschikt in combinatie met een WKO systeem. Indien gebouwen een overwegende warmte- of koudevraag hebben, is een WKO systeem minder geschikt. Echter kan dit bijzonder goed opgevangen worden door energie uit oppervlaktewater over te dragen om de balans in een WKO systeem te handhaven. In opdracht van Rijkswaterstaat en de Unie van Waterschappen (UvW) heeft IF Technology aangetoond dat het economisch potentieel van warmtewinning uit waterlopen, plassen, gemalen en kunstwerken (TEO) 42 - 182 petajoule per jaar is (IF Technology, 2016a en b). Binnen deze marge kan het economisch potentieel toenemen door toepassing van collectieve systemen en het gebruik van warmtenetten. Dit wordt mede veroorzaakt door de opschaling van de systemen en de verdeling van investeringskosten. Tevens zorgen warmtenetten voor een flexibilisering van de warmte- en koudevraag.

2.1.2 Uitrol strategie TEO

De potentie van TEO is in 2016 door de Energiecoalitie Rijkswaterstaat & UvW in kaart gebracht met de landelijke verkenning. Om deze potentie concreet te maken is het verzoek van de Energiecoalitie aan IF Technology om onder andere concrete kansrijke casussen uit te werken voor zeven regio's en deze in te kunnen brengen bij de tafel energie en ruimte die in elke regio wordt georganiseerd. Doel hiervan is het enthousiasmeren van de regio's om TEO op te nemen in de regionale energiestrategie als alternatief voor een gasloze duurzame oplossing.

Om de diverse mogelijkheden van TEO te etaleren voor wethouders van de gemeenten en andere initiatiefnemers, worden de zeven casussen in de vorm van een factsheet opgenomen in een portfolio die zal worden opgesteld door STOWA.

Door energie uit oppervlaktewater te halen kunnen gebouwen worden verwarmd of gekoeld. Neveneffect is dat het koelen van oppervlaktewater hitte bestrijdt en de waterkwaliteit verbetert, wat een interessante bijdrage kan leveren aan ruimtelijke adaptatie, aangezien dit principe in het grootste deel van Nederland toepasbaar is.

2.1.3 Casus: Dordtse Kil IV

De Dordtse Kil IV in Dordrecht is als één van de kansrijke locaties naar voren gekomen. Dit gebied wordt gekenmerkt door een nieuw te ontwikkelen duurzaam bedrijventerrein met een aantrekkelijk vestigingsklimaat voor logistieke dienstverleners en regionale bedrijven. Het bedrijventerrein grenst in het westen aan de Dordtsche Kil (oppervlaktewater). De ambitie is om van de Dordtse Kil IV een volledig energie neutraal bedrijventerrein te maken. Hoewel het bestemmingsplan nog niet definitief is, wordt er overwegend ruimte gemaakt voor logistieke bedrijven. Voor de energievraag zullen de gebouwen worden getypeerd als een mix van bedrijfsgebouwen voorzien van opslag- en transportruimten en bijbehorende kantoorruimten. De opslag- en transportruimten kunnen verschillende temperatuur regimes hebben. In dit rapport wordt de technische en financiële haalbaarheid van thermische energie uit oppervlaktewater (TEO) bij de Dordtse Kil IV in Dordrecht beschreven. Er is onderzocht wat de randvoorwaarden zijn voor het toepassen van TEO op deze locatie.

2.2 PLAN VAN AANPAK

In het plan van aanpak zijn de stappen beschreven die zijn uitgevoerd om tot een business case te komen. Hierbij worden de verschillende activiteiten, hulpmiddelen en resultaten beschreven.

2.2.1 Selecteren van kansrijke locaties

Kansrijke locaties zijn via workshops met de belanghebbenden geselecteerd. Hierbij zijn mensen van de gemeente uitgenodigd met kennis van ruimtelijke ordening en energie. Belangrijk hierbij is dat er overzicht is (digitaal of door kennis van de aanwezige personen) van waar ontwikkelingen zijn (nieuwbouw, renovatie of hoog energieverbruik). In de workshop is aan de hand van de kansenkaart gekeken of er een match te maken is tussen deze gebieden/gebouwen/wijken waar de ontwikkelingen gepland zijn en het aanwezige technische potentieel vanuit het oppervlaktewater, gemalen en/of diepe plassen.

2.2.2 Inventarisatie gebiedskenmerken en belanghebbenden

In deze fase wordt een overzicht gemaakt van de betrokkenen (stakeholderanalyse). Welke partijen zijn direct of indirect bij dit project of locatie betrokken. Welke rol spelen zij en kunnen zij input leveren voor de business case. In deze fase kan ook overwogen worden om een lokale netbeheerder en/of energiebedrijf te benaderen voor kennis van het gebied en het afstemmen van bestaande of toekomstige ontwikkelingen op energie gebied (bijvoorbeeld de aanleg van een warmtenet en het al dan niet vervangen van de bestaande gasinfrastructuur).

Verder worden de gebiedskenmerken geïnventariseerd bij de gemeente, waterschap en provincie. Eventueel kan er ook al een afnemer of projectontwikkelaar in beeld zijn waar gedetailleerde informatie beschikbaar is. Belangrijke gegevens zijn:

- kenmerken watersysteem en/of kunstwerk (gemaal);
- bodemopbouw en omgevingsbelangen grondwater;
- identificeren potentiële afnemers energie (warmte en/of koude);
- inventarisatie huidige/toekomstige energievraag beoogde afnemers.

2.2.3 Verkenning business case

Een belangrijke stap naar de realisatie is het uitwerken van de business case met het bepalen van het energieconcept op basis van de aanwezige/toekomstige vraag en het aanbod. In Bijlage 1 zijn diverse TEO/Smart polder concepten weergegeven met specifieke kenmerken. Met het energie concept wordt een schetsontwerp (SO) opgesteld van de thermische winning, distributie en opwekking. Deze wordt uitgewerkt in een financiële analyse. In het geval van verschillende investeerder(s) en afnemer(s) worden de investeringskosten en de exploitatiekosten opgenomen in een netto contante waarde (NCW) berekening om het mogelijke project rendement te kunnen berekenen. Bij een stakeholder die zowel investeerder als afnemer is, wordt de terugverdientijd ten opzichte van een referentiesysteem berekend. Ook wordt de juridisch haalbaarheid van het project beoordeeld (Waterwet en omgevingsbelangen). Als uit de business case blijkt dat het project haalbaar is en er voldoende draagvlak is bij de stakeholder(s) om het project verder te brengen kunnen de voorwaarden voor het vervolg worden vastgelegd in een intentieovereenkomst tussen de belanghebbenden.

2.2.4 Verdiepingsfase

In de volgende fase wordt een verdieping uitgevoerd van het technisch ontwerp en worden de juridische haalbaarheid (het aanvragen van vergunningen) en de financiële haalbaarheid geïnventariseerd. Hierbij kunnen ook de maatschappelijke baten worden gewaardeerd. In deze fase dienen naast de kosten en de baten, de onzekerheden en risico's zo goed mogelijk in beeld te worden gebracht voor alle relevante stakeholders. Op basis van deze inzichten kan besloten worden om een samenwerkingsovereenkomst aan te gaan waarin de rolverdeling en het projectfinancieringsmodel worden vastgelegd.

2.2.5 Projectrealisatie en exploitatie

De hierop volgende fasen zijn projectrealisatie en exploitatie. Hierbij kan de realisatie/exploitatie van het project eventueel (deels) in de markt worden gezet. Belangrijk voor deze fase is het inrichten van een monitorings- en beheerorganisatie die langdurig het optimale rendement uit het project kan genereren en de hierbij vooraf gestelde randvoorwaarden kan monitoren en waar nodig kan bijsturen.

2.3 DOELSTELLINGEN CASUSSEN

2.3.1 Algemene doelstellingen

De casussen worden in de regio's ingezet om TEO als duurzaam en gasloos alternatief te positioneren en de markt zo uit te dagen hiermee aan de slag te gaan. Daarnaast hebben de casussen een zo divers mogelijk karakter (verschillende energie concepten en afnemers), hierdoor ontstaat een portfolio van TEO toepassingsmogelijkheden met specifieke baten. De casussen kunnen daarmee als blauwdruk dienen voor vergelijkbare situaties en zo worden opgenomen in de regionale energiestrategieën.

2.3.2 Doelstellingen casus: Dordtse Kil IV Dordrecht

De doelstelling van deze specifieke casus is om de technische en financiële haalbaarheid inzichtelijk te maken voor de belanghebbenden. Dit zijn in directe zin de gemeente, de bedrijven en de projectontwikkelaars. Anderzijds is dit de UvW die in dit specifieke geval de haalbaarheid van een WKO + TEO systeem in combinatie met een nieuw te ontwikkelen bedrijventerrein met overwegend logistieke functie wil onderzoeken.

2.4 LEESWIJZER

In hoofdstuk 1 is de samenvatting van dit rapport gegeven. Hoofdstuk 2 beschrijft de achtergrond en doelstellingen van de business case, het plan van aanpak om van een kansrijke locatie tot een TEO project te komen. Hoofdstuk 3 geeft de inventarisatie van het project weer. In dit hoofdstuk worden alle belangrijke gegevens benodigd voor de business case beschreven. De energetische, technische en financiële uitwerking van de business case en de maatschappelijke baten worden gepresenteerd in hoofdstuk 4. In hoofdstuk 5 worden de conclusies en aanbevelingen gedaan. In bijlage 1 is een uitgebreide omschrijving te vinden van TEO en de Smart polder concepten.

3 Inventarisatie

3.1 STAKEHOLDERANALYSE

Toekomstige eigenaren en ontwikkelaars bedrijfsgebouwen

Hoewel de eigenaren/ontwikkelaars en de exacte invulling van de bedrijfsgebouwen in deze fase onbekend zijn, is het belangrijk dat de manier en inpassing van warmte- en koudelevering overeenkomt met de wensen en eisen van de gebouweigenaren.

Waterschap Hollandse Delta

Waterschap Hollandse Delta is verantwoordelijk voor het kwalitatieve en kwantitatieve beheer van het regionale oppervlaktewater waar de Dordtse Kil IV in Dordrecht onder valt. Voor het brengen van water in of het onttrekken van water uit een oppervlaktewaterlichaam is het waterschap bevoegd gezag voor vergunningverlening. Aanvullend is het waterschap de beheerder van de dijk grenzend aan de Dordtsche Kil en het gebied de Dordtse Kil IV.

Rijkswaterstaat

Rijkswaterstaat is verantwoordelijk voor het beheer en de ontwikkeling van de hoofdwegen, hoofdvaarwegen en hoofdwatersystemen, waar de rivier de Dordtsche Kil onder valt. Voor het brengen van water in of het onttrekken van water uit het oppervlaktewaterlichaam is Rijkswaterstaat bevoegd gezag voor vergunningverlening.

Provincie Zuid-Holland

De gedeputeerde staten van de provincie Zuid-Holland is volgens artikel 6.4 van de Waterwet bevoegd gezag voor grondwateronttrekkingen en infiltraties ten behoeve van bodemenergiesystemen, zoals warmte- en koude opslagsystemen.

Gemeente Dordrecht

De gemeente Dordrecht is eigenaar en bevoegd gezag van de openbare ruimte. Bij de realisatie van het project zijn voorzieningen in de openbare ruimte nodig (kabels, leidingen, inlaat en uitlaatwerk en bronnen), waar de gemeente bevoegd gezag is.

Unie van Waterschappen

De Unie van Waterschappen is de opdrachtgever van de huidige business case. Het doel is om TEO op te nemen in de regionale energiestrategie als alternatief voor gasloze duurzame oplossing.

3.2 KENMERKEN GEBIED EN GEBOUWEN

Gebied

Gemeente Dordrecht wil Dordtse Kil IV ontwikkelen tot een energieneutraal bedrijventerrein voor overwegend logistieke dienstverleners. In Figuur 3.1 is het gebied geel omlijnd. In het westen wordt Kil IV begrensd door de rivier de Dordtsche Kil. In het noorden en oosten wordt het gebied begrensd door Dordtse Kil III en de A16/spoorlijn, respectievelijk.

Gebouwen

De mix van gebouwen die bestudeerd zijn in deze casus zijn divers en kunnen allen worden getypeerd als nieuwbouw. Het gebied zal overwegend logistieke bedrijfsgebouwen gaan bevatten.



Figuur 3.1 | Plangebied Dordtse Kil IV. Bron: Google Earth.

Het bouwprogramma bestaat uit verschillende type bedrijfsgebouwen. Hierbij moet gedacht worden aan onder andere bedrijfsgebouwen met opslag- en transporthallen met verschillende temperatuurregimes, bedrijfsgebouwen met koel- en/of vriescellen en bedrijfsgebouwen met een industriële invulling (assemblage industrie). In het rapport “Energievisie Dordtse Kil IV” (Innoforte, 2015) is een inschatting gemaakt van de aantallen en bruto-vloeroppervlakte (BVO) van de bebouwing. In Tabel 3.1 zijn de aantallen en BVO van de gebouwen in de eindsituatie gegeven (Innoforte, 2015). Deze verdeling is ook aangenomen in de huidige business cases.

Tabel 3.1 | Aantal en grootte van de gebouwen in de eindsituatie. Bron: Innoforte (2015).

Grootte gebouw	Aantal gebouwen	BVO gebouw [m ²]	BVO totaal [m ²]	Aandeel BVO [%]
groot	7	31.339	219.375	50%
middel	10	10.969	109.688	25%
klein	26	4.219	109.688	25%
totaal	43		438.750	100%

Daarnaast zijn inschattingen gemaakt van de gebouwtypen en de bijbehorende warmte- en koudevraag. De warmte- en koudevraag is afhankelijk van de gebruiksfunctie. Vervolgens zijn 7 bouwscenario's met verschillende bedrijvenmixen bepaald en doorgerekend. In de huidige business case is een bedrijvenmix gekozen uit het rapport van Innoforte (2015) en beoordeeld op technische en financiële haalbaarheid in combinatie met een TEO systeem. Voor de duidelijkheid is dezelfde aanduiding gebruikt:

- 1 Bedrijvenmix - hal hoge temperatuur.

Er zijn 2 scenario's doorgerekend voor het WKO + TEO systeem:

- 1 Dordtse Kil IV - totaal
- 2 Dordtse Kil IV - groot gebouw

In scenario 1 wordt ervan uitgegaan dat het gehele gebied wordt aangesloten op het WKO + TEO systeem. In scenario 2 wordt ervan uitgegaan dat 1 groot gebouw (31.339 m² BVO) wordt aangesloten op het WKO + TEO systeem. Dit gebouw staat zo dicht mogelijk in de buurt van het oppervlaktewater.

Theoretisch kan elk gebouw 7 functies vervullen (kantoor, hal 5 °C, hal 10 °C, hal 18 °C, industrie, koelcel en vriescel). De uitsplitsing van de gebouweigenschappen en de totale jaarlijkse warmte- en koudevraag voor het hele gebied voor scenario 1 Dordtse Kil IV - totaal is gegeven in Tabel 3.2. Voor scenario 2 met 1 groot gebouw wordt de warmte- en koudevraag geschaald met de BVO van de gebouwen in het hele gebied (zie Tabel 3.3). Deze studie richt zich alleen op de benodigde warmte- en koudevraag. Het valt op dat bedrijvenmix - hal hoge temperatuur industrie bevat, maar dat voor deze industrie geen warmte- en/of koudevraag benodigd is. De energievraag voor deze functie wordt vervuld door elektriciteit. Dit is overgenomen uit de Energievisie Dordtse Kil IV (Innoforte, 2015). De warmte- en koudevraag en de bijbehorende vermogensvragen zijn afhankelijk van gebouwfunctie en het bouwjaar. In de huidige business cases is het bouwjaar 2020 aangenomen. De verwachting is dat na 2020 de EPC-eis voor gebouwen niet meer zal veranderen.

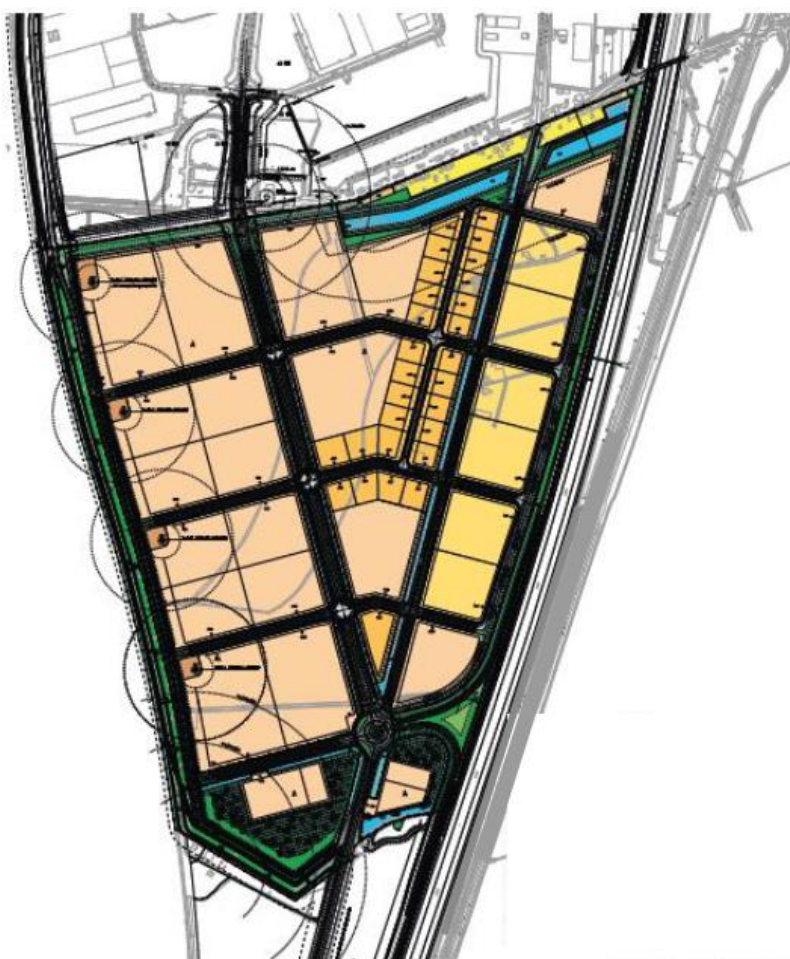
Tabel 3.2 | Warmte- en koudevraag scenario 1: Dordtse Kil IV - totaal. Bron: Innoforte (2015).

Scenario 1: Dordtse Kil IV - totaal								
Functie	kantoor	hal 5 °C	hal 10 °C	hal 18 °C	industrie	koelcel	vriescel	totaal
Eigenschappen gebouw								
BVO [m ²]	41.506		79.449	238.347	79.449			438.750
Warmtevraag [MJ/m ²]	43		65	339				
Koudevraag [MJ/m ²]	31							
Vermogen warmte [W/m ²]	20		36	50				
Vermogen koude [W/m ²]	28							
Eigenschappen eindscenario								
Warmtevraag [GJ/jaar]	1.785		5.164	80.800				87.749
Koudevraag [GJ/jaar]	1.287							1.287
Vermogen warmte [MW _{th}]	0,83		2,86	11,9				15,6
Vermogen koude [MW _{th}]	1,16							1,16

Tabel 3.3 | Warmte- en koudevraag scenario 2: Dordtse Kil IV - groot gebouw. Bron: Innoforte (2015).

Scenario 2: Dordtse Kil IV - groot gebouw								
Functie	kantoor	hal 5 °C	hal 10 °C	hal 18 °C	industrie	koelcel	vriescel	totaal
Eigenschappen gebouw								
BVO [m ²]	3.000		5.700	17.000	5.700			31.300
Eigenschappen eindscenario								
Warmtevraag [GJ/jaar]	128		370	5.800				6.300
Koudevraag [GJ/jaar]	92							92
Vermogen warmte [MW _{th}]	0,06		0,20	0,85				1,11
Vermogen koude [MW _{th}]	0,08							0,08

De exacte inrichting van de Dordtse Kil IV is nog niet definitief. Daarom is er een inschatting gemaakt tijdens de huidige studie van de verdeling van gebouwen op basis van Figuur 3.2, waarin een mogelijke kavelindeling is te zien (Innoforte, 2015). Omdat de exacte verdeling van bouwtype en gebouwgrrootte niet bekend is, wordt de energievraag en het aantal vierkante meters gelijkmatig verdeeld over het gebied.



Figuur 3.2 | Plattegrond Dordtse Kil IV met een mogelijke kavelindeling. Bron: Innoforte (2015).

Systeem concept energielevering gebouw

Voor de opwekking van warmte wordt gebruik gemaakt van een elektrische warmtepomp. De warmtepomp is aangesloten op een WKO + TEO systeem. De koude wordt direct geleverd vanuit het WKO systeem en met behulp van een warmtewisselaar afgegeven aan het distributienetwerk. Het distributienetwerk transporteert de koude naar de gebouwen. Het werkingsprincipe van een WKO systeem is beschreven in Bijlage 1.

In de huidige studie zijn twee concepten doorgerekend voor het scenario's Dordtse Kil IV - totaal:

- 1 **Centraal:** vanuit een centraal gelegen technische ruimte wordt de warmte en koude naar de gebouwen gestuurd. De warmte vanuit het oppervlaktewater, warmte en koude vanuit het WKO systeem en de warmte en koude naar de gebouwen wordt altijd centraal via de technische ruimte verwerkt. De warmte- en koude overdracht gebeurt via een warmtewisselaar, zodat het oppervlaktewater, het WKO grondwater en het water in het distributienetwerk niet met elkaar kunnen mengen. De WKO systemen zijn via een WKO bronnennet aan elkaar gekoppeld.
- 2 **Decentraal:** vanuit een WKO bronnennet wordt grondwater vanuit de warme en koude bron gedistribueerd naar de gebouwen. In de gebouwen wordt de warmte decentraal opgewaardeerd met warmtepompen. De warmte vanuit het oppervlaktewater, warmte en koude vanuit het WKO systeem en de warmte en koude naar de gebouwen wordt via een ringleiding aangesloten. De warmte- en koude overdracht gebeurt via een warmtewisselaar, zodat het oppervlaktewater en het WKO grondwater niet kunnen mengen.

Voor het scenario Dordtse Kil IV - groot gebouw is het concept decentraal berekend.

3.3 KENMERKEN WATERSYSTEEM

Om te kunnen beoordelen of een TEO systeem haalbaar is, zijn de gegevens van het aanwezige oppervlaktewater belangrijk. Hiermee kan een inschatting worden gemaakt van de hoeveelheid energie die onttrokken kan worden. Verder kan de minimale afstand tussen het onttrekkings- en lozingspunt berekend worden. Uiteindelijk kan met deze gegevens een inschatting worden gemaakt van de investeringskosten van het TEO systeem.

Afmetingen oppervlaktewater

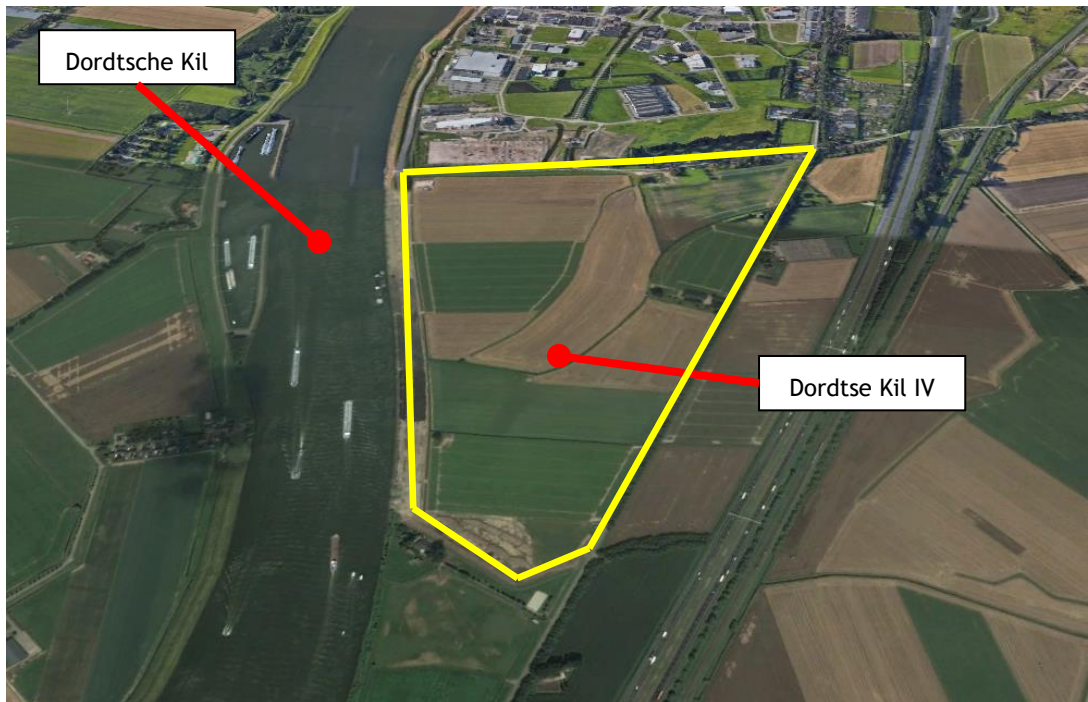
Het oppervlaktewater dat gebruikt kan worden voor het TEO systeem is de Dordtsche Kil. De Dordtsche Kil is een getijrivier in de provincie Zuid-Holland die de Oude Maas verbindt met het Hollandsch Diep. De afmetingen van het water ter hoogte van de Dordtse Kil IV (zie Figuur 3.3) zijn (Henk Looijen, persoonlijke communicatie, 19 juni 2017):

- Breedte: 250 m
- Diepte: 9 m

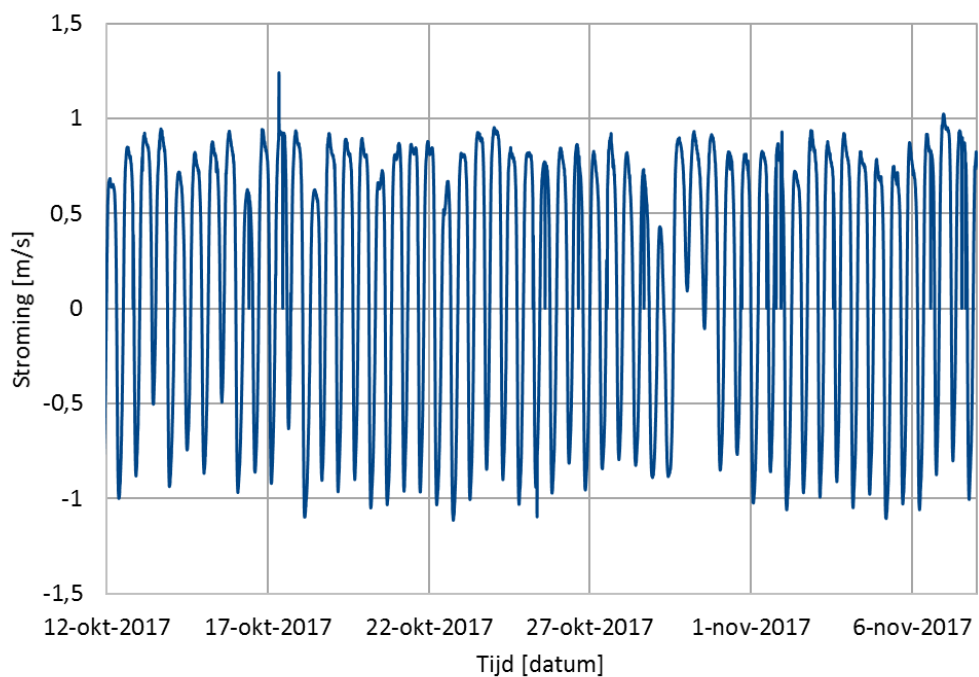
Debiet oppervlaktewater

Het debiet ter hoogte van de Dordtse Kil IV is gemiddeld $\sim 440 \text{ m}^3/\text{s}$ noordwaarts (Henk Looijen, persoonlijke communicatie, 19 juni 2017). Dit komt neer op een stromingssnelheid van $\sim 0,2 \text{ m/s}$. Het debiet ter hoogte van Wieldrecht (gemeente Dordrecht) in de Dordtsche Kil tussen 12 oktober 2017 t/m 8 nov 2017 is weergegeven in Figuur 3.4 (bron: <https://waterinfo.rws.nl/>, 8 november, 2017). Het wordt aangenomen dat dit debiet overeenkomt met het debiet ter hoogte van de Dordtse Kil IV. Het is duidelijk te zien dat de stromingsrichting wordt veroorzaakt door het getij. De stroomsnelheid schommelt tussen de 1 m/s (noordwaarts) en -1 m/s (zuidwaarts). Het is

belangrijk dat het TEO systeem dusdanig wordt ontworpen dat thermische interferentie tussen het onttrekkingspunt en lozingspunt wordt geminimaliseerd.



Figuur 3.3 | Dordtsche Kil. Bron: Google Earth.

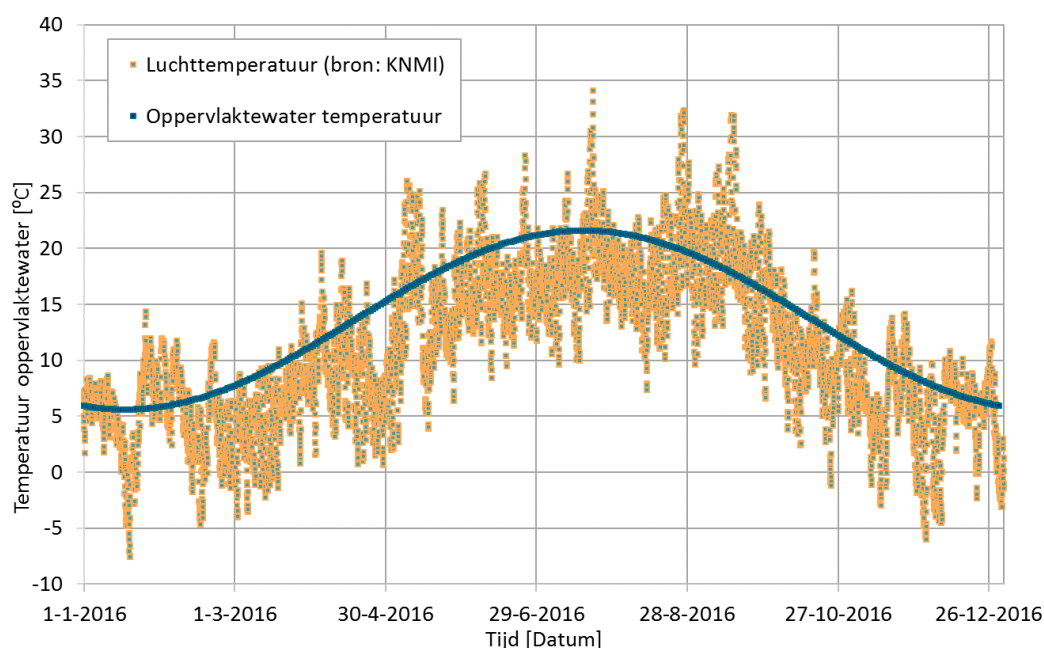


Figuur 3.4 | Stroming Dordtse Kil (Locatie: Wieldrecht). Bron: <https://waterinfo.rws.nl/>, 8 november, 2017.

Temperatuur oppervlaktewater

De gemiddelde jaartemperatuur van het oppervlaktewater in de Dordtsche Kil is 13,6 °C (Henk Looijen, persoonlijke communicatie, 19 juni 2017). De exacte temperatuur nabij de Dordtse Kil IV is niet bekend. Daarom is de temperatuur van het oppervlaktewater afgeleid van de buitenluchttemperatuur van 2016 (bron: KNMI) en de gemiddelde jaartemperatuur. De afgeleide is gepresenteerd in Figuur 3.5.

Deze temperatuur afgeleide wordt gebruikt in de energetische analyse om het moment van laden (onttrekken van oppervlaktewater) en de hoeveelheid energie die geladen kan worden te bepalen.



Figuur 3.5 | Temperatuur oppervlaktewater Dordtsche Kil. De water temperatuur is afgeleid van de buitenluchttemperatuur (bron: KNMI) en de gemiddelde temperatuur van het oppervlaktewater van 13,6 °C.

Juridisch

Het onttrekken en lozen van oppervlaktewater voor de levering van energie, maakt de energieleverancier vergunningplichtig bij Rijkswaterstaat in het kader van de Waterwet. Daarnaast is het waterschap bevoegd gezag van de dijk tussen de Dordtsche Kil en Kil IV. De rest van de grond zal deels in eigendom zijn van de gemeente en zullen doorvoeren en de aanleg van leidingen in openbaar terrein moeten worden afgestemd. Op voorhand kan niet met zekerheid worden gezegd dat het systeem zal worden vergund, maar ervaring leert dat een vergunning in goed overleg mogelijk is. Wel zijn er vaak maatwerkvoorschriften die randvoorwaarden vormen voor het ontwerp van onder andere de in- en uitlaat.

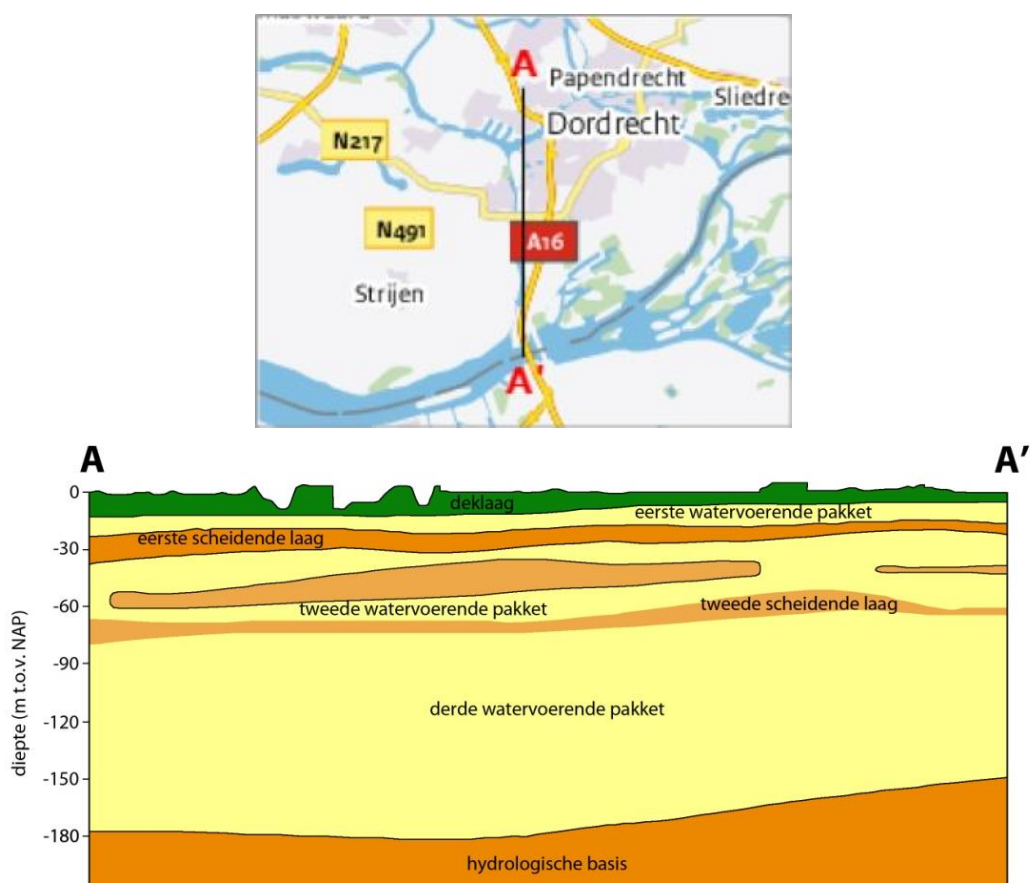
3.4 KENMERKEN BODEM

Bodemopbouw

De bodemopbouw in de directe omgeving van de locatie is beschreven op basis van de volgende gegevens:

- grondwaterkaart van Nederland;
- regionaal Geohydrologisch Informatie Systeem (REGIS);
- boorbeschrijvingen uit het archief van TNO Bouw en Ondergrond via DINOLOket;
- boorbeschrijvingen van omliggende bodemenergiesystemen.

De bodem op de projectlocatie in Dordrecht is geschematiseerd in een aantal watervoerende pakketten en scheidende lagen. De globale bodemopbouw op de locatie is weergegeven in Figuur 3.6.



Figuur 3.6 | Schematisatie bodemopbouw.

Omdat een duidelijke scheiding tussen het tweede en derde watervoerende pakket ontbreekt, ziet de provincie geen bezwaren om voor deze locatie het tweede en derde watervoerende pakket als gecombineerd pakket aan te duiden. Het gecombineerde tweede en derde watervoerende pakket

bestaat uit matig fijn tot uiterst grof zand met kleilagen. De haalbare capaciteit van het pakket varieert. Het wordt verwacht dat een capaciteit per bron van ~75 m³/uur gehaald kan worden.

Geohydrologie

In Tabel 3.4 zijn de relevante technische en juridische aspecten opgenomen die van invloed zijn op de werking van een bodemenergiesysteem in het gecombineerde eerste en tweede watervoerende pakket. In en onder de tabel zijn de aandachtspunten/risico's of belemmeringen nader toegelicht.

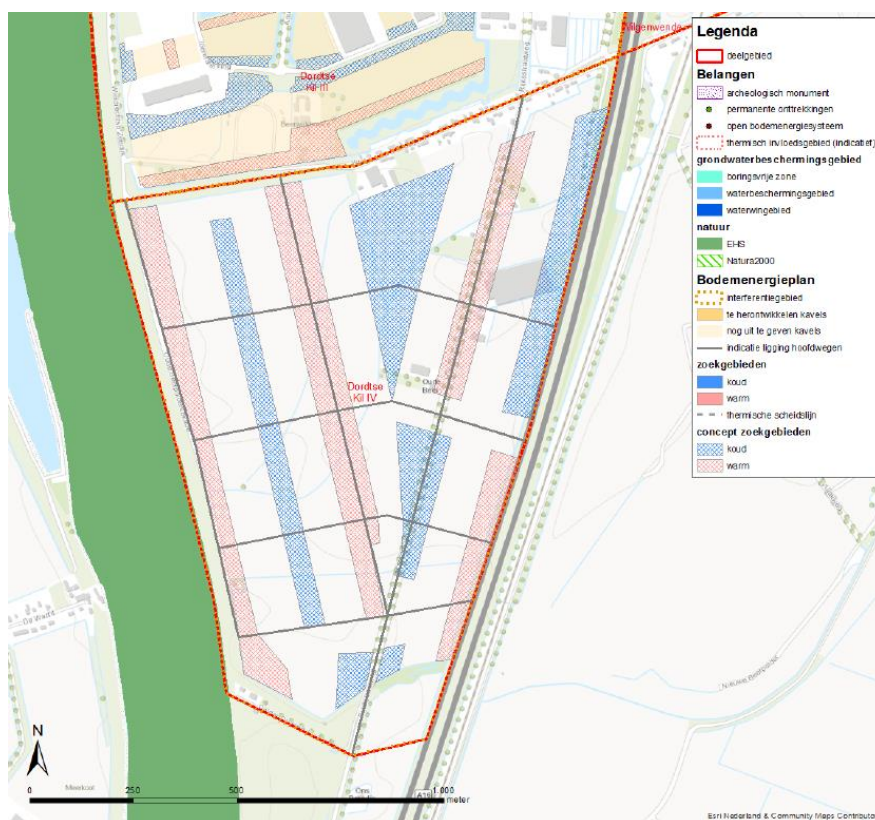
Tabel 3.4 | Technische en juridische aspecten bodemenergiesysteem.

onderwerp	toelichting	
bodemopbouw		
doorlaatvermogen	✓ geschikt	
dikte pakket	✓ voldoende dik	
grondwater		
grondwaterstand	✓ dieper dan 0,8 m-mv	
stijghoogte watervoerend pakketten	✓ geen risico op artesisch grondwater	
grondwaterstroming	✓ 5-10 m/jaar in noordnoordoostelijke richting	
zoet/brak/zout-overgangen	⚠ zoet-/brakgrensvlak 175 m-mv, brak-/zoutgrensvlak 200 m-mv	
gas	✓ geen afwijkende gasdruk	
deeltjes	✓ geen verhoogd risico op deeltjes	
redox	✓ geen redoxovergang in opslagpakket	
temperatuur	✓ 13 °C	
vergunbaarheid		
grondwatergebruikers	✓ geen grondwatergebruikers in de omgeving bekend	
zettingen	✓ noemenswaardige zetting wordt niet verwacht	
grondwaterbescherming	✓ niet gelegen in een grondwaterbeschermingsgebied	
natuurbelangen	✓ niet gelegen in een restrictiegebied	
archeologie	✓ geen hoge verwachting archeologische waarden	
verontreinigingen	✓ geen verontreinigingen bekend die een belemmering vormen voor een open bodemenergiesysteem in het gecombineerde tweede en derde watervoerende pakket	
bodemenergieplan	✓ in het bodemenergieplan Westelijke Dordtse Oever zijn concept-zoekgebieden opgenomen. Deze zijn niet juridisch bindend.	
inpassing bronnen en leidingen		
belangen	✓ aanwezige kabels en leidingen: overleg met gemeente noodzakelijk	
toestemming bronnen op gemeenteground	✓ overleg met gemeente noodzakelijk	
✓ geschikt, geen belemmering of aandachtspunt	⚠ aandachtspunt of risico	✗ hoog risico of belemmering

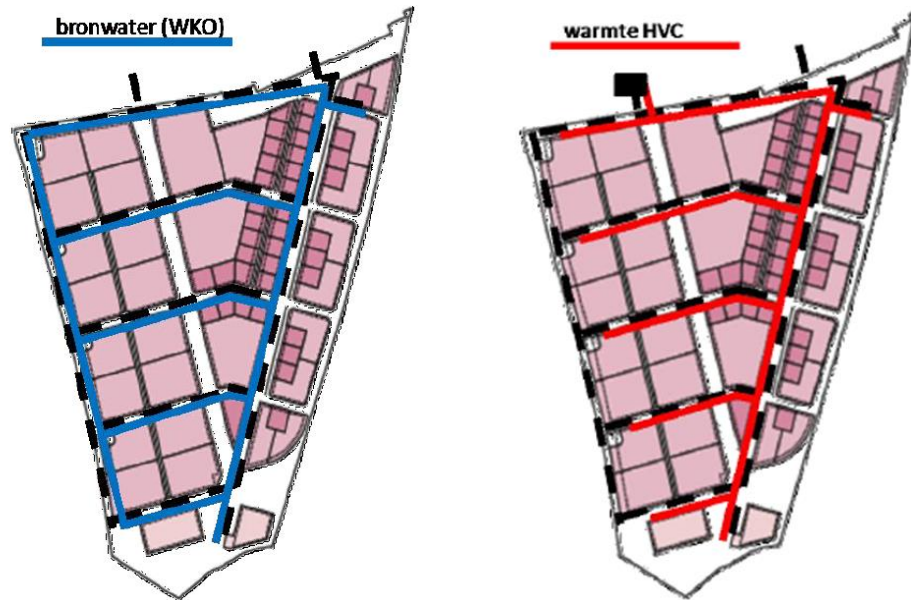
- 3 **Zoet-/zoutgrensvlakken:** Conform provinciaal beleid is verzilting van het zoete grondwater door toedoen van bodemenergiesystemen niet toegestaan. Bij nieuwe bodemenergiesystemen dient ervoor te worden gezorgd dat er geen sprake is van menging van zoet en brak of zout grondwater en/of verplaatsing van het zoet-/brakgrensvlak. Dit betekent dat de bronfilters of volledig in het zoete deel of volledig in het brak tot zoute deel van het pakket geplaatst moeten worden.

Concept

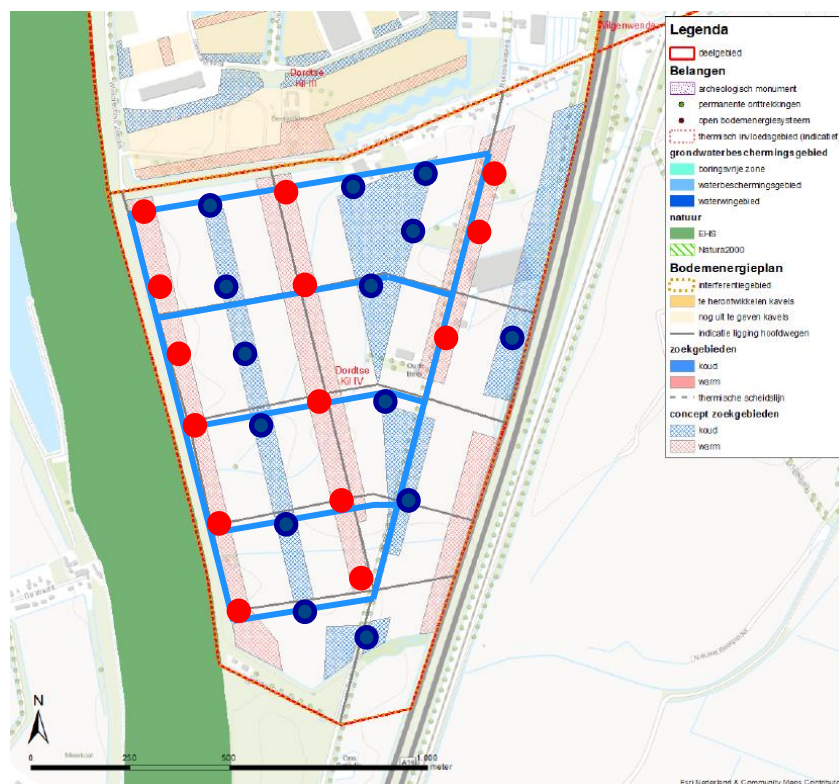
Het beoogde debiet is ca. 1075 m³/uur. Dit debiet kan met ongeveer 14 doubletten gerealiseerd worden. Het theoretische principe van een WKO doublet is beschreven in Bijlage 1. De warmte- en koudebronnen dienen minimaal 150 meter uit elkaar te liggen om interferentie tegen te gaan. Gezien de omvang van het gebied worden hier geen problemen in voorzien. In het rapport “Bodemenergieplan gemeente Dordrecht - Plan voor stimulering en ordening van bodemenergie” (IF Technology, 2015) is een plankaart gemaakt voor de Dordtse Kil IV met mogelijke warmte- en koudebronnen (zie Figuur 3.7). Daarnaast is in het rapport “Energievisie Dordtse KIL IV” (Innoforte, 2015) een conceptueel WKO bronnennet en een conceptueel warmtenet gepresenteerd (zie Figuur 3.8). Het WKO bronnennet en warmtenet hebben een lengte van -5700 m en -4700 m, respectievelijk. Op basis van deze informatie is een concept doublet verdeling ontworpen, waarbij de doubletten proportioneel verdeeld zijn over het gebied. Daarnaast is de afstand tussen het WKO bronnennet en de doubletten geminimaliseerd om de kosten van het leidingwerk te kunnen reduceren.



Figuur 3.7 | Plankaart Dordtse Kil IV. Bron: IF Technology (2015)



Figuur 3.8 | Conceptueel WKO bronnennet Dordtse Kil IV (links). Conceptueel warmtenet (rechts). Bron: Innoforte (2015).



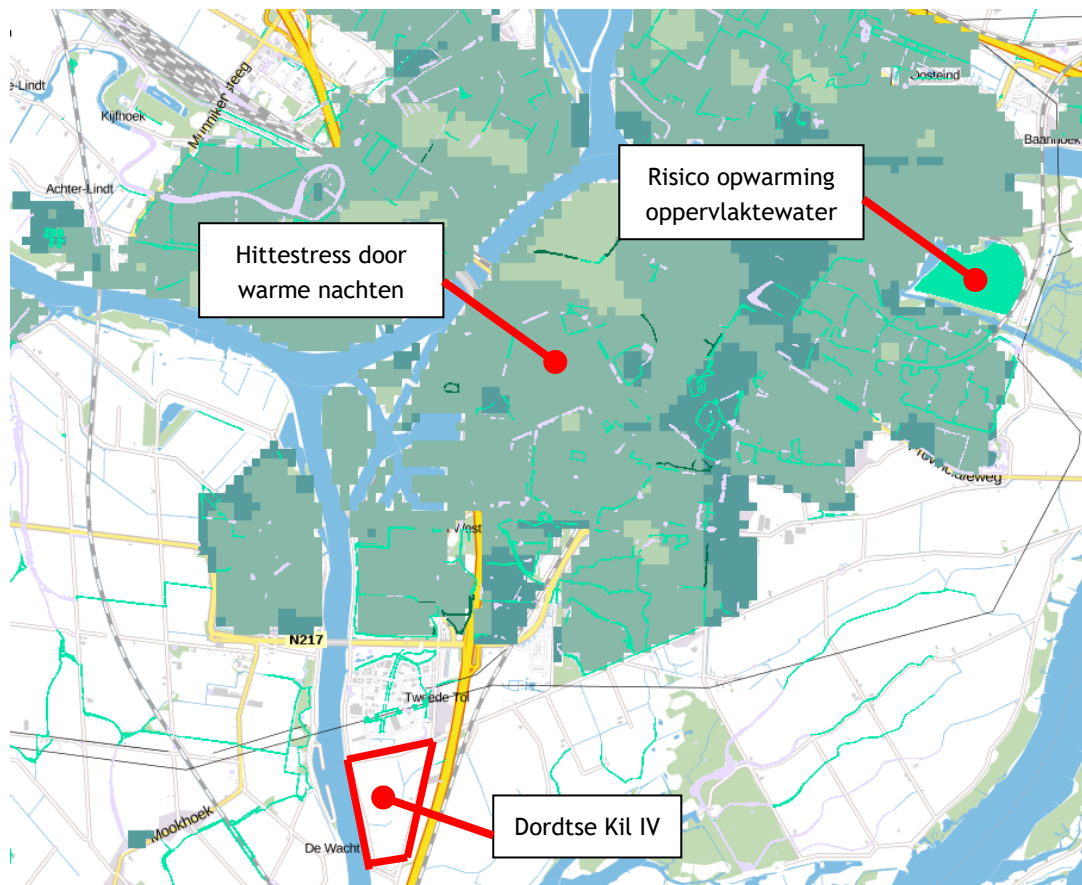
Figuur 3.9 | Verdeling WKO dubletten over WKO bronnennet en Kil IV (concept).

3.5 KLIMAATADAPTIE

Het klimaat warmt op en veel van de sinds de jaren vijftig waargenomen veranderingen in het klimaatsysteem zijn in de afgelopen honderden tot duizenden jaren niet eerder voorgekomen. De concentratie van broeikasgassen is toegenomen, de atmosfeer en de oceanen zijn opgewarmd, de hoeveelheid sneeuw en ijs is afgenomen en de zeespiegel is gestegen. Nederland en omliggende landen zijn tweemaal zo snel opgewarmd als gemiddeld op aarde en ook is het hier meer en extremer gaan regenen. Zowel mondiaal als voor Nederland was er in het jaar 2016 een warmte record. Het KNMI heeft klimaatscenario's opgesteld voor de temperatuursverhoging in 2050. Door klimaatverandering zullen er meer warme zomers voorkomen. De zomer krijgt meer tropische nachten, met een minimumtemperatuur van 20°C of hoger, en meer zomerse dagen, met een maximumtemperatuur van 25°C of hoger. Hierdoor zal het aantal locaties met problematische blauwalgenbloei en de duur van blauwalgenbloei toenemen (bron: KNMI, 2015). Ook gedijen ongewenste exotische planten en dieren, ziekteverwekkers- en verspreiders beter.

Door het verharde oppervlak en de gebouwen in steden in combinatie met eventueel stilstaand water wordt deze warmte extra vastgehouden en ontstaan hitte-eilanden. Deze hitte-eilanden hebben een negatief effect op de waterkwaliteit. In de Klimateffectatlas zijn deze effecten te zien middels de hittekaart. Momenteel zijn er in de Klimateffectatlas geen effecten te zien voor de Dordtsche Kil en het gebied de Dordtse Kil IV (zie Figuur 3.10). In de stad Dordrecht daarentegen is wel risico voor opwarming van het oppervlaktewater en hittestress zichtbaar. De lichtgroene kleur (risico opwarming oppervlaktewater) geeft aan dat 10-20 aaneengesloten dagen de temperatuur boven de 20 °C uitkomt. Terwijl de donkere tinten groen de hittestress (aantal tropische nachten per jaar > 20 °C) voorstellen, waarbij de minimumtemperatuur tot 14 dagen per jaar boven de 20 °C is. Hittestress kan bij kwetsbare groepen leiden tot meer arbeidsuitval, een toename van ziektes en vervroegde sterfte (bron: Klimateffectatlas).

Het onttrekken van warmte uit oppervlaktewater heeft een verkoelend effect op het lokale klimaat. Hiermee zal het oppervlaktewater minder of geen warmte uitstraling meer hebben naar de omgeving en wordt verslechtering van de waterkwaliteit door het stedelijk hitte-eiland effect beperkt. Daarnaast zorgt het aanbieden van duurzame koeling met grondwater voor een directe warmte emissiereductie ten opzichte van traditionele koelers (compressiekoelmachine), waarmee extra hittestress wordt voorkomen.



Figuur 3.10 | Hittekaart van Dordrecht. Bron: Klimateffectatlas. Verkregen op 8 november, 2017 van <http://www.klimateffectatlas.nl>.

3.6 OMGEVINGSBELANGEN

3.6.1 Juridische belangen

Voor het realiseren van de energievoorzieningen dienen diverse aspecten juridisch te worden geborgd.

Vergunningen

De benodigde vergunningen voor het onttrekken van bodemenergie (vergunning Waterwet, lozingsvergunning) en het onttrekken van water aan de Dordtsche Kil dienen te worden aangevraagd. Hierbij worden geen (significante) knelpunten voorzien.

4 Business case

Aan de hand van de geïnventariseerde data, die zijn beschreven in hoofdstuk 3, is de business case (BC) doorgerekend. De BC is opgesplitst in drie onderdelen:

- energetisch concept;
- schets ontwerp van het systeem;
- financiële analyse.

Indien aannamen of kentallen gebruikt worden die niet afkomstig zijn uit hoofdstuk 3 zal dit expliciet vermeld worden.

4.1 ENERGIECONCEPTEN

Bij de toepassing van TEO zijn er globaal twee concepten mogelijk: warmte uit oppervlaktewater of koude uit oppervlaktewater (zie Bijlage 1). Afhankelijk van de randvoorwaarden binnen een project bepaald het concept voor een groot deel de financiële, technische en juridische haalbaarheid. Belangrijke aspecten binnen een concept zijn:

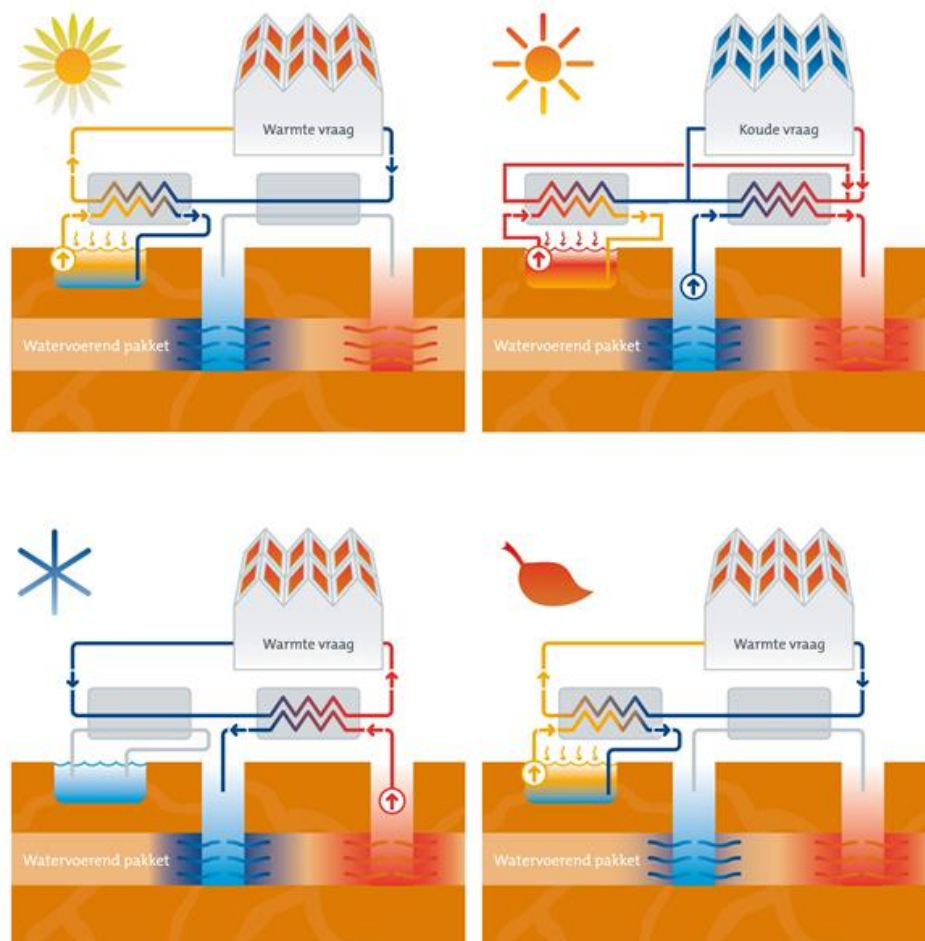
- energievraag (warmte en koude);
- afgiftesysteem;
- distributienet;
- tapwaterbereiding;
- geschiktheid bodem voor WKO;
- aanwezigheid van oppervlaktewater en/of kunstwerken;
- ruimtegebruik inpandig.

Systeemkeuze energievraag

De Dordtse Kil IV in Dordrecht kenmerkt zich door een overwegende warmtevraag en een lage koudevraag. Hierbij is het toepassen van warmte uit oppervlaktewater in combinatie met WKO een voor de hand liggende oplossing (zie Bijlage 1, Figuur 7.1). Zeker als het afkoelen van het oppervlaktewater een bijdrage kan leveren in de bestrijding van het hitte-eiland effect. Bij de selectie van de locatie is aangenomen dat de Dordtsche Kil IV voldoende potentie biedt voor het winnen van warmte voor de locatie. De bodemcapaciteit is voldoende voor het toepassen van WKO (zie paragraaf 3.4). In Figuur 4.1 is het globale principe van de energiestromen in de verschillende seizoenen weergegeven.

Door in het voorjaar en najaar ook direct warmte te winnen kan optimaal gebruik gemaakt worden van het potentieel van het oppervlaktewater. Door de combinatie met WKO kan ook duurzame koeling worden geleverd voor de gebouwen. De koeling kan rechtstreeks worden geleverd door middel van vloerkoeling of via een luchtbehandelingskast (LBK).

Er dient ruimte vrijgemaakt te worden voor een technische ruimte (TR). Tevens dient de technische ruimte op een strategische plek t.o.v. van het TEO systeem en WKO systeem geplaatst te worden om de kosten van het distributienet zoveel mogelijk te verlagen.



Figuur 4.1 | Inzet TEO voor de energievoorziening in de vier seizoenen. Met de klok mee: lente, zomer, herfst, winter.

Stelselkeuze gebouwinstallatie: monovalent

Een andere belangrijke keuze is het type gebouwinstallatie waarmee de hoogwaardige warmte wordt geproduceerd. De belangrijkste twee type installaties zijn:

- monovalent (warmtelevering 100% met warmtepompen, all-electric);
- bivalent (warmtelevering met warmtepompen en piekketels op aardgas).

In Bijlage 1 wordt een overzicht gegeven van de overwegingen die spelen bij het maken van deze keuze. Het gaat hierbij om overwegingen op het gebied van:

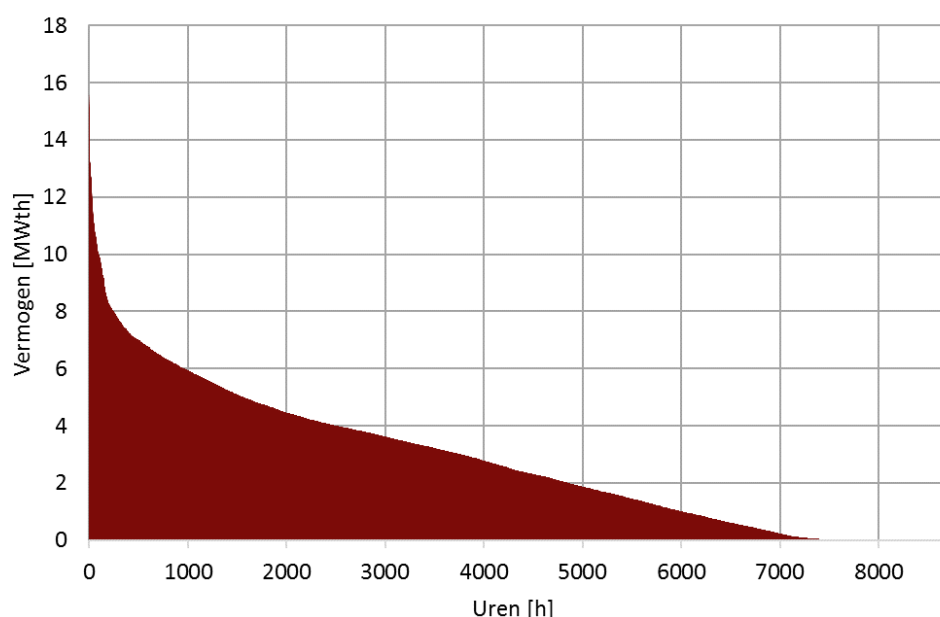
- duurzaamheid;
- financiën;
- leveringszekerheid;
- inpassing.

Bij de Dordtse Kil IV is het de wens om een aardgasloze klimatisering te realiseren. Om die reden wordt als systeemconcept gekozen voor een monovalent opwekkingsstelsel. Vanuit duurzaamheidsoverwegingen heeft dit stelsel ook de voorkeur. De CO₂ emissiereductie is bij een

monovalent systeem maximaal als er gebruik wordt gemaakt van groene stroom. De opgave is om vervolgens een systeem te ontwerpen dat voor de overige parameters voldoet aan de haalbaarheidsnormen.

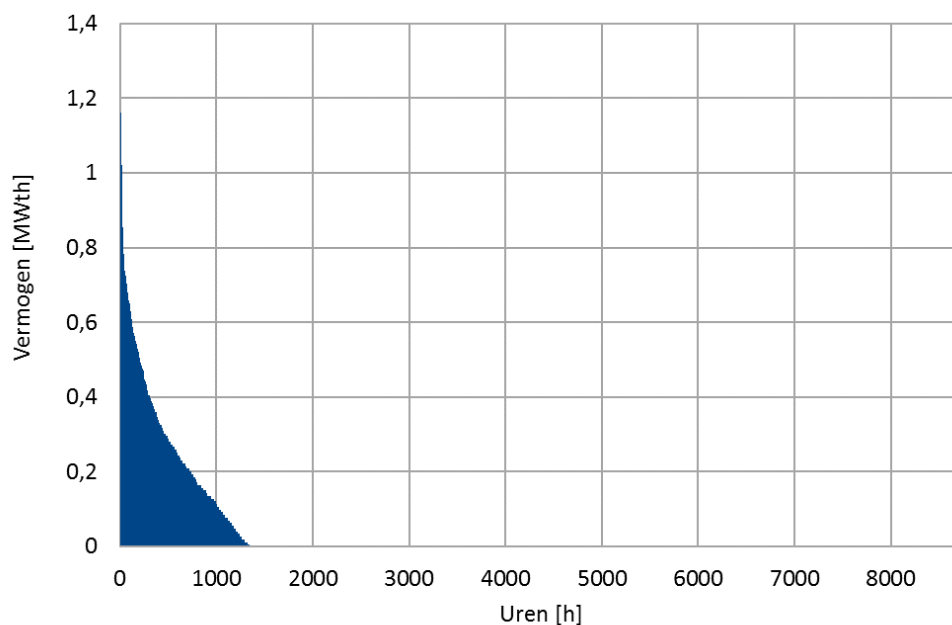
Uitwerking en resultaten energieconcept

In paragraaf 3.2 is een inventarisatie gemaakt van de energievraag voor warmte en koude van de Dordtse Kil IV. Om een nauwkeurige analyse te kunnen maken van het totale energieconcept zijn de uitgangspunten voor warmte geschaald naar een bestaande warmtevraag voor een soortgelijke mix van gebouwen met een vergelijkbare functie. Op deze manier kan een bepaalde warmtevraag gedurende het jaar gekoppeld worden aan de data van het oppervlaktewater. De koudevraag en het moment van koude levering gedurende het jaar is gekoppeld aan de gemiddelde buitenluchttemperatuur van de afgelopen vijf jaar. Dit houdt in dat er pas boven een bepaalde temperatuur wordt gekoeld en het maximale vermogen wordt geleverd op de warmste dag. De koudevraag tussen minimale en maximale temperatuur wordt geschaald. De jaarbelastingduurcurve die hieruit voortvloeit voor de warmte- en koudevraag is gepresenteerd in Figuur 4.2 en Figuur 4.3. Figuur 4.2 is de jaarbelastingduurcurve voor scenario 1 Dordtse Kil IV - totaal. De trend van de jaarbelastingduurcurve voor scenario 2 Dordtse Kil IV - groot gebouw is identiek, terwijl het vermogen en de energievraag (oppervlak onder jaarbelastingduurcurve) overeenkomen met de waarden in Tabel 3.3.



Figuur 4.2 | Jaarbelastingduurcurve verwachte warmtevraag voor de Dordtse Kil IV voor scenario 1 Dordtse Kil IV - totaal.

Door TEO toe te passen kan er een energiebalans gecreëerd worden voor het WKO systeem. Dit betekent dat er nagenoeg evenveel warmte geleverd wordt door de warme bron in de winter als dat er warmte geladen wordt in de warme bron tijdens de zomer. Om deze balans te creëren zijn het oppervlaktewater debiet en de minimale oppervlaktewater temperatuur waarbij TEO in werking treedt op elkaar afgestemd.



Figuur 4.3 | Jaarbelastingduurcurve verwachte koudevraag voor de Dordtse Kil IV voor scenario 1 Dordtse Kil IV - totaal.

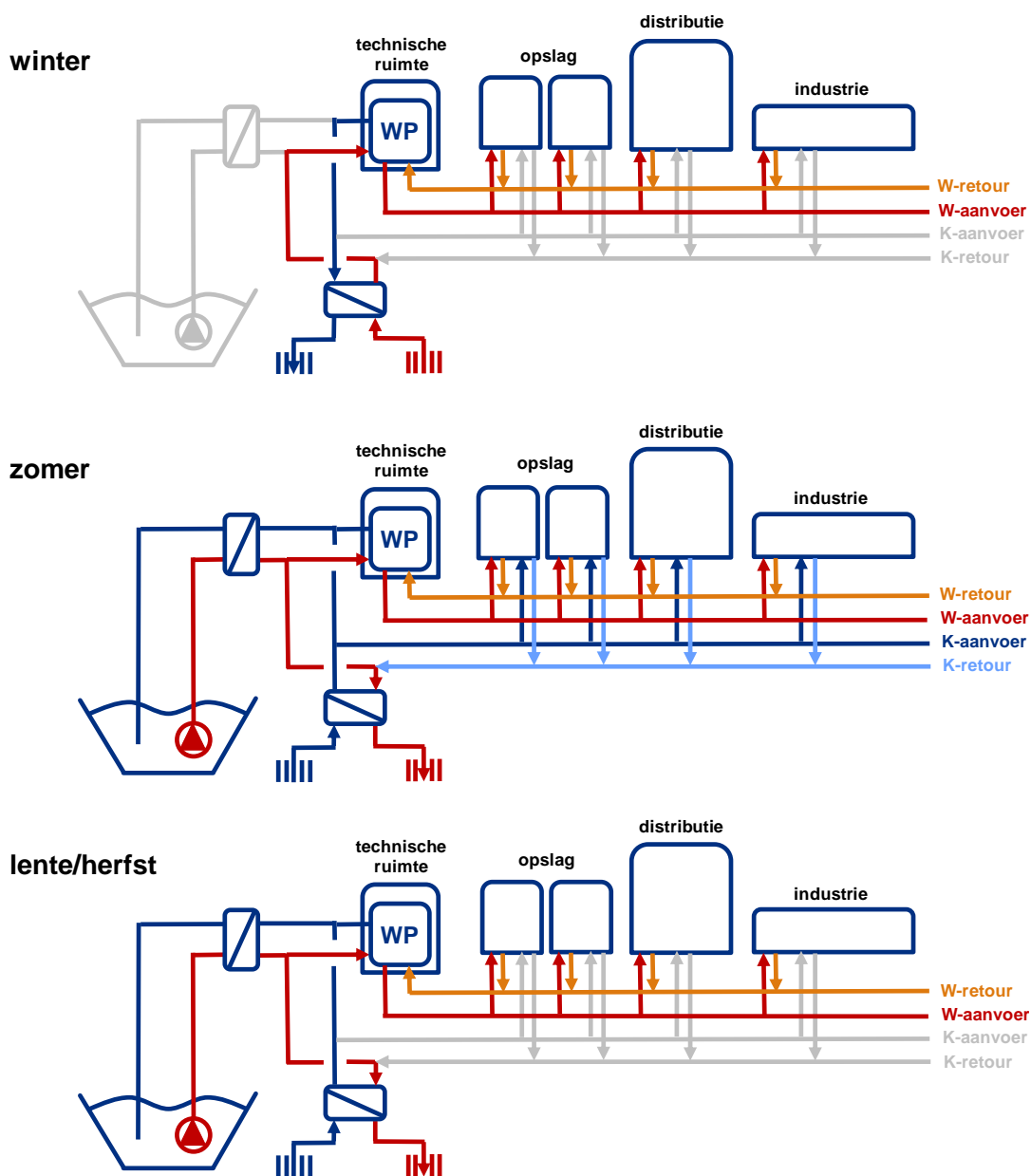
Een aantal belangrijke input en output gegevens van het energieconcept zijn te zien in Tabel 4.1.

Tabel 4.1 | Input en output parameters van het energetische concept voor de Dordtse Kil IV voor scenario 1 Dordtse Kil IV - totaal.

Input parameters	Eenheid	Waarde
Minimale uitkoeling oppervlaktewater	°C	3,0
Maximale uitkoeling oppervlaktewater	°C	6,0
Minimale lozingstemperatuur	°C	12,7
Minimale onttrekkingstemperatuur	°C	15,7
Infiltratietemperatuur koude	°C	7,0
Aanvoer temperatuur gebouwzijdig	°C	50,0
Output parameters	Eenheid	Waarde
Maximale COP	-	5,3
Seasonal Performance Factor (SPF)	-	4,6
Maximaal debiet oppervlaktewater	m ³ /h	780
Maximaal debiet WKO	m ³ /h	1075
Gemiddelde infiltratietemperatuur warmte	°C	19,6

De maximaal benodigde debieten zijn belangrijk om het systeem te dimensioneren en om zo de investeringskosten te kunnen ramen. In Figuur 4.4 is het TEO systeem in een principeschema gepresenteerd gedurende de winter, zomer en lente/herfst. In de lente en de herfst wordt aangenomen dat de koeling niet in werking is, maar dat het TEO systeem wel warmte levert. Er moet expliciet vermeld worden dat de aangegeven jaargetijden niet overeen hoeven te komen met de meteorologische seizoenen. In dit geval zijn de seizoenen indicatief en afhankelijk van de

oppervlaktewater temperatuur. In de volgende twee paragrafen worden deze gegevens gebruikt voor het schetsontwerp en de financiële analyse.



Figuur 4.4 | Principeschema TEO systeem in de winter, zomer en lente/herfst (Grijs = niet in bedrijf). Winter: het TEO systeem is uitgeschakeld in dit concept (grijs), omdat er een overwegende warmtevrage is. Er wordt geen koude geleverd aan de gebouwen (grijs). Het WKO systeem levert de warmte uit de warme bron, die opgewaardeerd wordt in een warmtepomp (WP) alvorens deze naar de gebouwen wordt gedistribueerd. Zomer: het TEO systeem is ingeschakeld, warm water wordt aan de WP gevoed (rood) om warmte (rood) en warmtapwater (rood) te leveren. Daarnaast wordt de WKO bron geladen met warmte (rood) van het TEO systeem. De WKO levert koude aan de gebouwen (donkerblauw). De opgewarmde koude (lichtblauw), K-retour, wordt gebruikt om de WKO te laden. Lente/herfst: het TEO systeem en WKO systeem zijn werkzaam, maar er wordt geen koude geleverd.

In scenario 2 Dordtse Kil IV - groot gebouw zou de technische ruimte onderdeel van het gebouw kunnen zijn. In dat geval zou de warmtepomp in Figuur 4.4 in het gebouw geplaatst worden. Voor het concept en de energiestromen heeft dit echter geen invloed. Hetzelfde geldt voor scenario 1 met een decentraal concept (individuele warmtepompen in de gebouwen).

4.2 SCHETSONTWERP

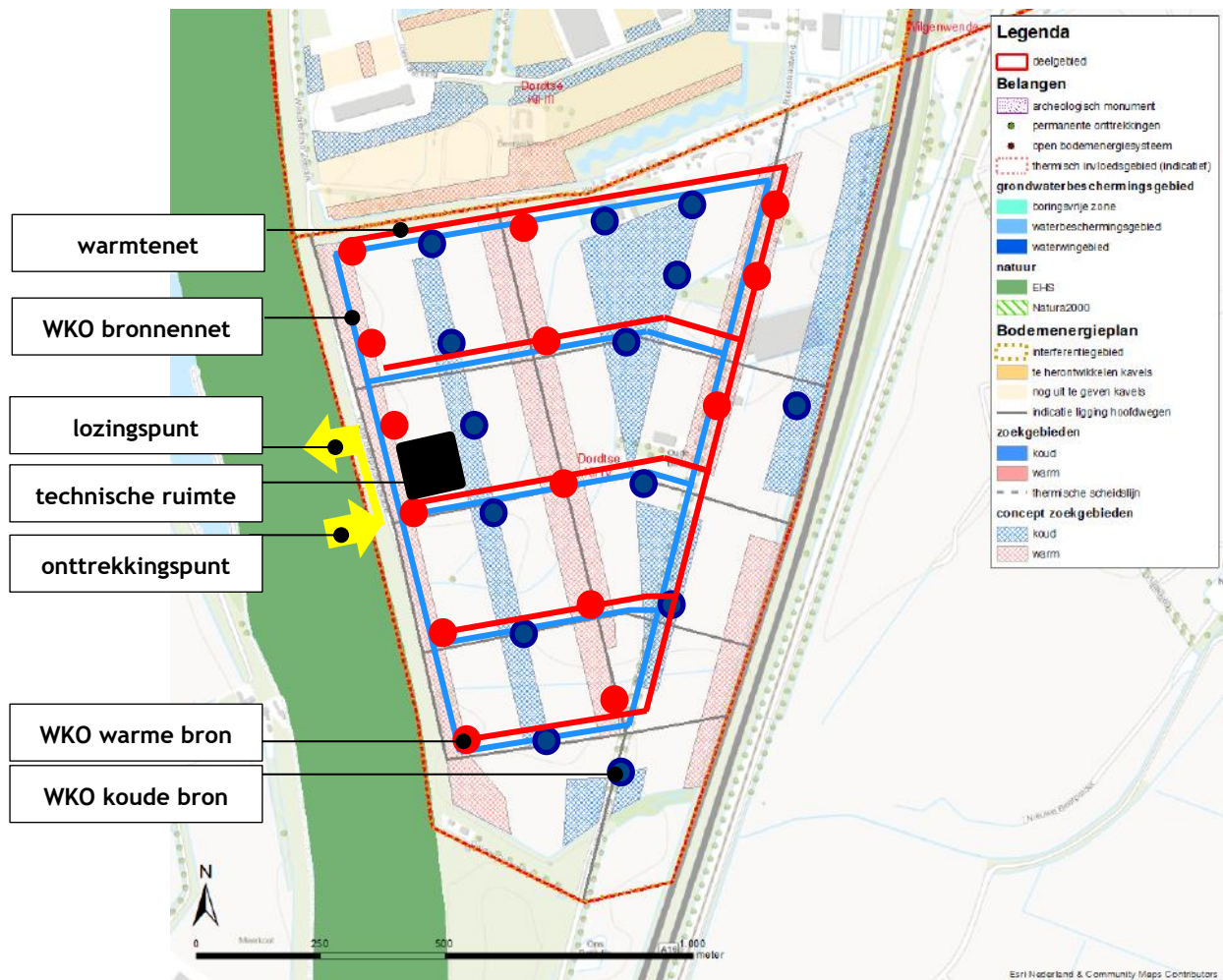
Voor realisatie van het systeem moeten onder meer de volgende onderdelen worden ingepast:

- in- en uitlaat oppervlaktewatersysteem:
 - scenario 1 Dordtse Kil IV - totaal: 780 m³/h;
 - scenario 2 Dordtse Kil IV - groot gebouw: 58 m³/h.
- WKO doubletten:
 - scenario 1 Dordtse Kil IV - totaal: 1075 m³/h (14 doubletten);
 - scenario 2 Dordtse Kil IV - groot gebouw: 75 m³/h (1 doublet).
- technische ruimte (warmtepomp(en) en warmtewisselaars);
- distributieleidingen warmte en koude naar gebouwen;
- distributieleidingen WKO systeem;
- distributieleidingen TEO systeem;
- aansluitleidingen ten behoeve van de aan te sluiten panden.

Locatie en invoeging

Ter verduidelijking is het schetsontwerp van concept centraal voor scenario 1 Dordtse Kil IV - totaal, die hieronder is beschreven, in Figuur 4.5 te zien:

- **In- en uitlaat oppervlaktewatersysteem:** deze komen bij voorkeur centraal in het gebied te liggen, zodat de kortste route naar de technische ruimte kan worden gerealiseerd. De afstand tussen in- en uitlaat is afhankelijk van de stroomsnelheid en stroomrichting in de Dordtsche Kil en de wensen met betrekking tot uitkoeling van de waterloop. In paragraaf 3.3 is aangenomen dat de Dordtsche Kil stromend water is ten gevolge van het getij met een gemiddelde stroming van 0,2 m/s noordwaarts. Met het verwachte onttrekkingsdebiet, de afmetingen van het kanaal, de stroming en het temperatuurverschil tussen onttrekkings- en lozingspunt is een minimale afstand van 200 m berekend tussen onttrekkings- en lozingspunt. Daarom is het onttrekkingspunt aan de zuidkant en het lozingspunt aan de noordkant geplaatst. In Figuur 7.3 en Figuur 7.4 van Bijlage 1 zijn twee typen inlaatsystemen van een gerealiseerd TEO systeem te zien. De uitlaat bij het lozingspunt kan onzichtbaar worden afgewerkt in de kademuur. Er worden speciale filters geplaatst om fauna te beschermen. Het leidingnet van het onttrekkingspunt naar de technische ruimte en van de technische ruimte naar het lozingspunt wordt gezien als onderdeel van het oppervlaktewatersysteem. De juridische en civieltechnische mogelijkheden en knelpunten voor plaatsen van de distributieleidingen dienen in detail te worden uitgezocht. Een leiding door een dijk kan wellicht lastig zijn.
- **WKO doubletten:** de doubletten zijn proportioneel verdeeld over het totale gebied. De WKO doubletten dienen afgestemd te worden op de warmte- en koudevraag in het gebied. Daarnaast is de afstand tussen het WKO bronnennet en de doubletten geminimaliseerd om de kosten van het leidingwerk te kunnen reduceren. Warme- en koudebronnen dienen minimaal 150 m uit elkaar te liggen. Wanneer de verkaveling van het gebied definitief is vastgesteld, kunnen ook de zoekgebieden aangepast en/of vastgesteld en verankerd worden.
- **Technische ruimte:** deze ruimte kan worden ondergebracht in een eigen ruimte of openbare ruimte. De technische ruimte kan bovengronds of ondergronds geplaatst worden. In dit



Figuur 4.5 | Schetsontwerp concept centraal WKO + TEO systeem voor scenario 1 Dordtse Kil IV - totaal van de Dordtse Kil IV in Dordrecht met het warmtenet (rode leidingen), WKO bronnennet (blauwe leidingen), WKO warme (rood) en koude (blauw) bronnen, TEO systeem (geel), technische ruimte (zwart). De leidingen van de WKO bronnen naar het bronnennet zijn niet getekend, evenals de aansluitleidingen naar de gebouwen. Technische ruimte is niet op ware grootte.

specifieke geval is het wenselijk om de locatie van de technische ruimte, het TEO systeem en het WKO systeem afhankelijk van elkaar te maken om de kosten zoveel mogelijk te kunnen beperken. In de huidige business case is de locatie van de technische ruimte centraal in het gebied geplaatst. De locatie heeft effect op de business case, omdat het leidingwerk van en naar de technische ruimte een significante investeringspost is. De technische ruimte bevat in dit geval onder andere de warmtepomp en de warmtewisselaars. De locatie van de warmtewisselaar om warmte tussen het water in het distributienet en oppervlaktewater uit te wisselen kan op verschillende plaatsen gerealiseerd worden. Dit zou eventueel ook direct bij het onttrekkingspunt en de WKO kunnen. Het wordt verwacht dat dit minimale invloed heeft op de kosten van het distributienet. Daarom is die keuze in deze business case achterwege gelaten.

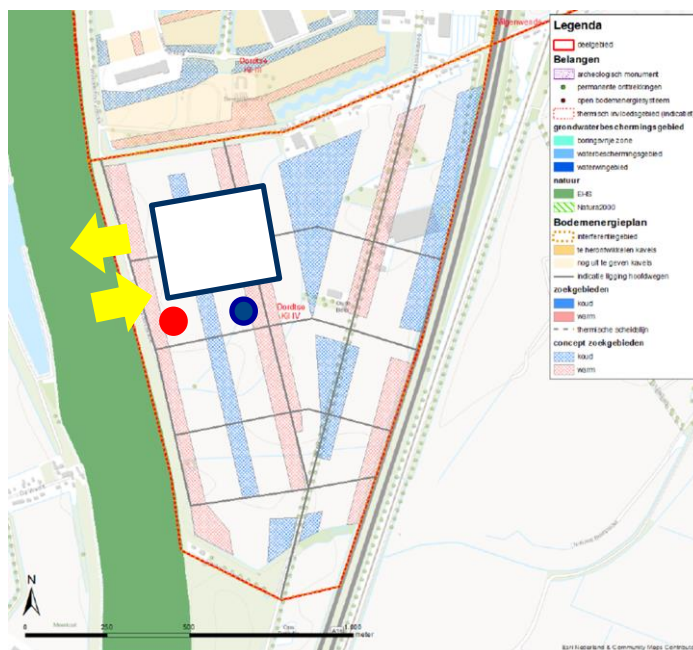
- **Distributieleidingen warmte en koude naar gebouwen:** (zie Figuur 4.5. rode leidingen) omdat er in het gebied meerdere afnemers van warmte en koude zijn én het systeemconcept van

centrale opwekking uitgaat, is er een centraal distributienet nodig (zie Figuur 3.8). Elke rode lijn bestaat uit 4 leidingen, warmte aanvoer, warmte retour, koude aanvoer en koude retour. Dit is nodig omdat de gebouwen een verschillende warmte- en koudevraag kunnen hebben.

- **Distributieleidingen WKO systeem:** (zie Figuur 4.5. blauwe leidingen) het distributienetwerk van het WKO systeem loopt tussen de warme- en koudebronnen en de TR op de kortst mogelijke manier. De leidingen vallen in Figuur 4.5 deels samen met het distributienetwerk voor de gebouwen. De capaciteit van deze leidingen moet minimaal overeenkomen met de capaciteit van 2 WKO doubletten, namelijk 150 m³/h, en maximaal overeenkomen met het totale WKO debiet, namelijk 1050 m³/h.
- **Distributieleidingen TEO systeem:** het distributienetwerk van het TEO systeem loopt tussen het onttrekkingspunt en het lozingspunt en de TR op de kortst mogelijke manier. De capaciteit van deze leidingen moet overeenkomen met de capaciteit van het TEO systeem, namelijk 780 m³/h.
- **Aansluitleidingen ten behoeve van de aan te sluiten gebouwen:** deze lopen van het gebouw naar het distributienetwerk.

Het concept decentraal voor scenario 1 Dordtse Kil IV - totaal is een variant op concept centraal. In concept decentraal is er geen warmtenet aanwezig. Het WKO bronnennet fungeert als warmte en koude distributienet. Elk gebouw heeft een eigen warmtepomp om de warmte op te waarden. De koude wordt direct uit het WKO bronnennet geleverd.

Het schetsontwerp van scenario 2 Dordtse Kil IV - groot gebouw is in Figuur 4.6 te zien. Alle onderdelen hierboven beschreven zijn in dit scenario ook nodig, de schaalgrootte zal echter significant kleiner zijn. Hoewel er distributieleidingen voor het WKO systeem zijn, zal er geen bronnennet benodigd zijn om één gebouw aan te sluiten op bodemenergie. Het gebouw is naast het oppervlaktewater in de Dordtsche Kil geplaatst om de investeringskosten voor leidingwerk zo laag mogelijk te houden.



Figuur 4.6 | | Schetsontwerp scenario 2 Dordtse Kil IV - groot.

4.3 IMPACT LEEFOMGEVING

De voorzieningen worden deels ondergronds aangelegd (bronnen en leidingen) of inpandig (warmtepomp en warmtewisselaars). Deze hebben, na aanleg, nagenoeg geen visuele impact op de omgeving. Van de bronnen zijn de putten zichtbaar. Deze kunnen desgewenst op maaiveld afgewerkt worden of, indien gewenst, juist uit het landschap worden getild om het duurzame karakter te benadrukken.

Het ontwerp en de constructie in de kadeafwerking zal afgestemd dienen te worden met het bevoegd gezag (de gemeente en het waterschap).

4.4 FINANCIËLE ANALYSE

Methode

Voor de financiële analyse is het WKO + TEO systeem vergeleken met een referentiesysteem. Het referentiesysteem bestaat uit:

- all-electric warmte- en koude voorziening;
- decentraal concept (elk gebouw is apart aangesloten);
- lucht/water warmtepomp ten behoeve van de warmtevraag;
- compressiekoelmachine ten behoeve van de koudevraag.

Het verschil met de WKO + TEO scenario's is dat er geen distributienet tussen WKO, TEO, TR en gebouwen nodig is. Het is belangrijk om te vermelden dat gebouwzijdige aanpassingen in verband met deze concepten niet zijn meegerekend in de financiële analyse. Er wordt aangenomen dat de warmte en koude binnen de gebouwen op eenzelfde manier wordt verzorgd. De investeringskosten (CAPEX), operationele kosten (OPEX) en eventuele subsidies zijn met elkaar vergeleken. Vervolgens is de terugverdientijd van WKO + TEO systeem berekend ten opzichte van het referentiesysteem.

Uitgangspunten financiële analyse

Voor de financiële berekeningen is rekening gehouden met de uitgangspunten gegeven in Tabel 4.2. In navolgende tabellen zijn de te verwachten kosten inzichtelijk gemaakt. Alle genoemde bedragen zijn exclusief BTW en gebaseerd op prijspeil 2017.

Tabel 4.2 | Uitgangspunten financiële analyse.

Parameter	Eenheid	Waarde
CAPEX		
Indexering investeringskosten	%	1,8
Project looptijd	jaar	30
Herinvestering compressiekoelmachine	jaar	16 (100%)
Herinvestering warmtepomp	jaar	16 (100%)
Herinvestering warmtewisselaar	jaar	16 (100%)
Herinvestering afgifteset	jaar	16 (100%)
Herinvestering leidingnet	jaar	16 (34%)
OPEX		
Indexering operationele kosten	%	1,8
Netbeheerder	-	Stedin

Investeringskosten

In Tabel 4.3 en Tabel 4.4 zijn de eenmalige investeringskosten van de 2 WKO + TEO concepten (centraal en decentraal) voor scenario 1 Dordtse Kil IV - totaal in beeld gebracht. De investeringskosten van het referentiesysteem zijn gegeven in Tabel 4.5. De ontwerp, advies en vergunningen, en onvoorziene kosten zijn 8% en 15% van de investeringskosten in het geval van de WKO + TEO concepten, respectievelijk. Bij het referentiesysteem zijn deze kosten 10% en 20% van de investeringskosten. Dit wordt veroorzaakt door de grootte van de investeringskosten.

Tabel 4.3 | Investeringskosten realisatie WKO + TEO concept centraal scenario 1 Dordtse Kil IV - totaal.

Investeringskosten WKO + TEO concept centraal scenario 1 Dordtse Kil IV - totaal	Eenheid	Kosten
Bodemenergie voorzieningen	€	2.680.000
Oppervlaktewater voorzieningen	€	1.640.000
Distributie voorzieningen	€	5.240.000
Warmtepomp	€	3.510.000
Afgifteset	€	215.000
Ontwerp, advies en vergunningen (8%)	€	1.060.000
Onvoorzien (15%)	€	1.990.000
Totaal	€	16.340.000

Tabel 4.4 | Investeringskosten realisatie WKO + TEO concept decentraal scenario 1 Dordtse Kil IV - totaal.

Investeringskosten WKO + TEO concept decentraal scenario 1 Dordtse Kil IV - totaal	Eenheid	Kosten
Bodemenergie voorzieningen	€	2.710.000
Oppervlaktewater voorzieningen	€	1.560.000
Distributie voorzieningen	€	3.440.000
Warmtepomp	€	4.690.000
Ontwerp, advies en vergunningen (8%)	€	1.000.000
Onvoorzien (15%)	€	1.860.000
Totaal	€	15.260.000

Tabel 4.5 | Investeringskosten realisatie referentiesysteem: decentrale lucht/water warmtepomp en compressiekoelmachine.

Investeringskosten referentiesysteem scenario 1 Dordtse Kil IV - totaal	Eenheid	Kosten
Warmtepomp	€	4.680.000
Compressiekoelmachine	€	300.000
Ontwerp, advies en vergunningen (10%)	€	570.000
Onvoorzien (20%)	€	1.130.000
Aansluitvergoeding elektriciteit	€	800.000
Totaal	€	7.510.000

In Tabel 4.6 zijn de eenmalige investeringskosten van het WKO + TEO concept decentraal en het referentiesysteem voor scenario 2 Dordtse Kil IV - groot gebouw in beeld gebracht.

Tabel 4.6 | Investeringskosten realisatie WKO + TEO concept decentraal en referentiesysteem scenario 2 Dordtse Kil IV - groot gebouw.

Investeringskosten WKO + TEO concept decentraal en referentiesysteem scenario 2 Dordtse Kil IV - groot gebouw	Eenheid	WKO + TEO systeem	Referentie systeem
Bodemenergie voorzieningen	€	250.000	
Oppervlaktewater voorzieningen	€	110.000	
Distributie voorzieningen	€	70.000	
Warmtepomp	€	250.000	250.000
Compressiekoelmachine	€		20.000
Afgifteset	€	5.000	
Ontwerp, advies en vergunningen (10%)	€	70.000	32.000
Onvoorzien (20%)	€	140.000	63.000
Aansluitvergoeding elektriciteit	€		45.000
Totaal	€	900.000	410.000

Eenmalige inkomsten

In Tabel 4.7 en Tabel 4.8 zijn de eenmalige inkomsten in beeld gebracht voor het WKO + TEO systeem bij een centraal en decentraal concept voor scenario 1 Dordtse Kil IV - totaal, respectievelijk. In Tabel 4.9 zijn de eenmalige inkomsten in beeld gebracht voor het WKO + TEO systeem bij een decentraal concept voor scenario 2 Dordtse Kil IV - groot gebouw. De Energie-investeringsaftrek (EIA) is vanuit het ministerie van Economische Zaken bedoeld om duurzaam ondernemen te stimuleren. Met deze regeling kan 55% van de investeringskosten afgetrokken worden van de fiscale winst. Dit levert een gemiddeld voordeel op van 13,5%. Een belangrijke voorwaarde om in aanmerking te komen voor de EIA is dat de energiezuinige investering als “bedrijfsmiddel” op de Energielijst van RVO staat.

Voor de aansluiting op een warmtenet kan een eenmalige aansluitbijdrage gevraagd worden. Bij een bestaand warmtenet is deze aansluitbijdrage gereguleerd door de Autoriteit Consumenten Markt. De eenmalige aansluitbijdrage in 2017 is € 1011,73 incl. BTW. Bij een nieuw aan te leggen warmtenet wordt er geen vaste prijs gesteld. In de huidige business case is uitgegaan van een eenmalige aansluitbijdrage van € 2000 excl. BTW per gebouw.

De investeringssubsidie duurzame energie (ISDE) is in dit geval niet van toepassing. De ISDE is van toepassing op warmtepompen tot 70 kW. De kleinste warmtepomp in de huidige studie is groter dan 100 kW.

Het referentiesysteem, met een lucht/water warmtepomp en compressiekoelmachine, komt niet in aanmerking voor de bijdrage aansluitkosten (BAK) omdat de gebouwen niet op een warmtenet worden aangesloten. De EIA geldt ook niet, omdat er geen energiezuinige investering plaatsvindt. In geval van de ISDE geldt hetzelfde als bij het WKO + TEO systeem.

Tabel 4.7 | Eenmalige inkomsten realisatie WKO + TEO concept centraal scenario 1 Dordtse Kil IV - totaal.

Inkomsten WKO + TEO concept centraal scenario 1 Dordtse Kil IV - totaal	Eenheid	Waarde
Energie-investeringsaftrek (EIA) 13,5%	€	1.480.000
Bijdrage aansluitkosten (BAK)	€	86.000
Investeringssubsidie duurzame energie (ISDE)	€	n.v.t.

Tabel 4.8 | Eenmalige inkomsten realisatie WKO + TEO concept decentraal scenario 1 Dordtse Kil IV - totaal.

Inkomsten WKO + TEO concept decentraal scenario 1 Dordtse Kil IV - totaal	Eenheid	Waarde
Energie-investeringsaftrek (EIA) 13,5%	€	1.640.000
Bijdrage aansluitkosten (BAK)	€	86.000
Investeringssubsidie duurzame energie (ISDE)	€	n.v.t.

Tabel 4.9 | Eenmalige inkomsten realisatie WKO + TEO concept decentraal scenario 2 Dordtse Kil IV - groot gebouw.

Inkomsten WKO + TEO concept decentraal scenario 2 Dordtse Kil IV - groot gebouw	Eenheid	Waarde
Energie-investeringsaftrek (EIA) 13,5%	€	86.000
Bijdrage aansluitkosten (BAK)	€	2.000
Investeringssubsidie duurzame energie (ISDE)	€	n.v.t.

Tarieven

Het tarief voor elektra bestaat uit vaste kosten en variabele kosten. De vaste kosten voor elektriciteit en gas zijn gebaseerd op de tarieven van netbeheerder Stedin. De vaste kosten voor elektriciteit bestaan uit een aansluittarief, vastrecht transport, kW contract en kW max tarief. De variabele kosten voor elektriciteit zijn gebaseerd op een landelijk gemiddelde voor zakelijk gebruik. Alle concepten zijn all-electric, dus gas is buiten beschouwing gelaten. De variabele kosten bestaan uit de energieprijis, energiebelasting en opslag duurzame energie. De elektriciteitskosten zijn afhankelijk van het concept. Bij concept centraal, is het tarief gebaseerd op de totale elektriciteitskosten benodigd voor de bronpompen, distributiepompen en warmtepompen. Bij concept decentraal en het referentiesysteem zijn de tarieven gebaseerd op het elektriciteitsverbruik per gebouw.

Jaarlijkse exploitatiekosten

In Tabel 4.10 en Tabel 4.11 zijn de jaarlijkse exploitatiekosten weergegeven voor het WKO + TEO systeem concept centraal en concept decentraal voor scenario 1 Dordtse Kil IV - totaal, respectievelijk. De jaarlijkse exploitatiekosten voor het referentiesysteem voor scenario 1 Dordtse Kil IV - totaal zijn weergegeven in Tabel 4.12. De jaarlijkse exploitatiekosten voor het WKO + TEO systeem en het referentiesysteem concept decentraal voor scenario 2 Dordtse Kil IV - groot gebouw zijn gepresenteerd in Tabel 4.13.

Tabel 4.10 | Jaarlijkse exploitatiekosten WKO + TEO concept centraal scenario 1 Dordtse Kil IV - totaal.

Exploitatiekosten WKO + TEO concept centraal scenario 1 Dordtse Kil IV - totaal	Eenheid	Kosten
Inkoop		
Elektriciteit (vast en variabel)	€/jaar	684.000
Onderhoud en beheer		
Opwekking (WKO en TEO)	€/jaar	85.000
Distributienet	€/jaar	52.000
Warmtepompen	€/jaar	70.000
Afgifteset	€/jaar	4.000
Totaal	€/jaar	898.000

Tabel 4.11 | Jaarlijkse exploitatiekosten WKO + TEO concept decentraal scenario 1 Dordtse Kil IV - totaal.

Exploitatiekosten WKO + TEO concept decentraal scenario 1 Dordtse Kil IV - totaal	Eenheid	Kosten
Inkoop		
Elektriciteit (vast en variabel)	€/jaar	795.000
Onderhoud en beheer		
Opwekking (WKO en TEO)	€/jaar	85.000
Distributienet	€/jaar	34.000
Warmtepompen	€/jaar	187.000
Totaal	€/jaar	1.008.000

Tabel 4.12 | Jaarlijkse exploitatiekosten referentiesysteem: decentrale lucht/water warmtepomp en compressiekoelmachine concept decentraal scenario 1 Dordtse Kil IV - totaal.

Exploitatiekosten referentiesysteem scenario 1 Dordtse Kil IV - totaal	Eenheid	Kosten
Inkoop		
Elektriciteit (vast en variabel)	€/jaar	990.000
Onderhoud en beheer		
Warmtepompen	€/jaar	187.000
Compressiekoelmachine	€/jaar	12.000
Elektriciteitsaansluiting	€/jaar	32.000
Totaal	€/jaar	1.220.000

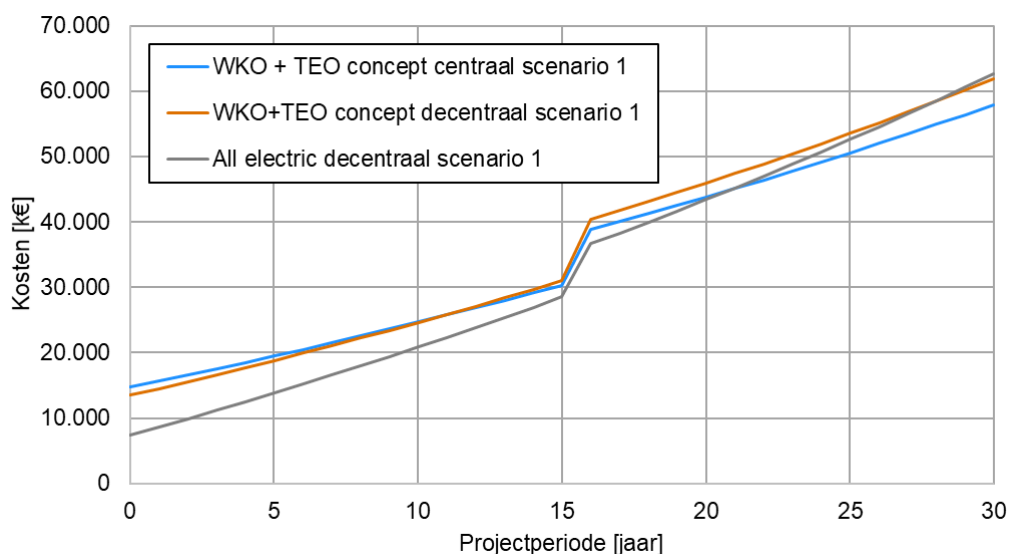
Tabel 4.13 | Jaarlijkse exploitatiekosten WKO + TEO concept decentraal en referentiesysteem scenario 2 Dordtse Kil IV - groot gebouw.

Exploitatiekosten WKO + TEO concept decentraal en referentiesysteem scenario 2 Dordtse Kil IV - groot gebouw	Eenheid	WKO + TEO systeem	referentie systeem
Inkoop			
Elektriciteit (vast en variabel)	€/jaar	45.000	67.000
Onderhoud en beheer			
Opwekking (WKO en TEO)	€/jaar	7.000	
Distributienet	€/jaar	1.000	
Warmtepompen	€/jaar	8.000	8.000
Compressiekoelmachine			1.000
Elektriciteitsaansluiting			2.000
Afgifteset	€/jaar	100	
Totaal	€/jaar	60.000	80.000

Terugverdientijd

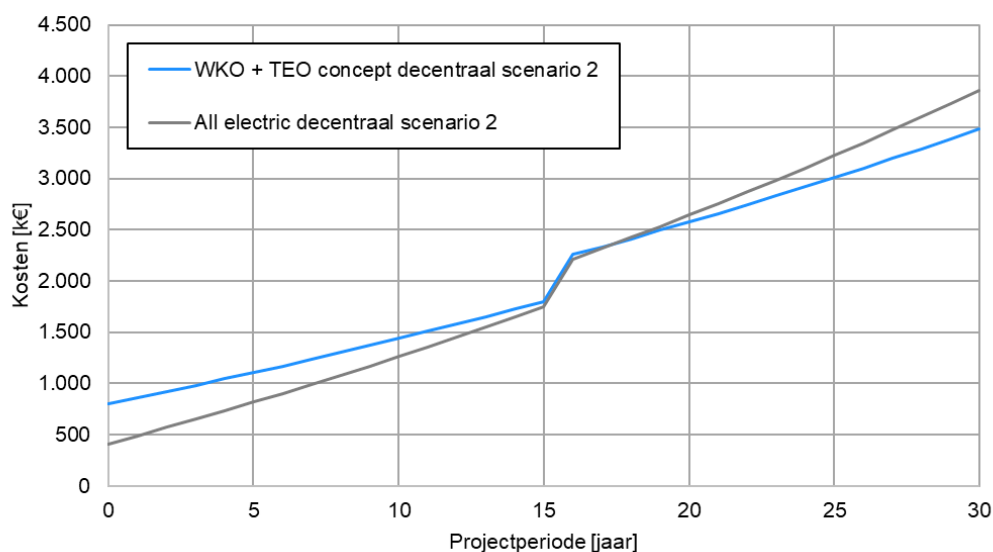
In Figuur 4.7 zijn de kosten en baten van het WKO + TEO concept centraal (blauw) uitgezet tegen het WKO + TEO concept decentraal (oranje) en tegen het referentiesysteem (grijs) met een decentrale warmtepomp en koelmachine over een projectperiode van 30 jaar voor scenario 1 Dordtse Kil IV - totaal. De trend van de kosten voor beide systemen wordt onder andere veroorzaakt door de eenmalige investeringskosten en eventuele inkomsten (subsidies) in jaar 0. Daarbij zorgen de exploitatiekosten voor de stijgende lijn. Opvallend is de toename van kosten in het jaar 16, deze wordt veroorzaakt door de herinvesteringen die gegeven zijn in Tabel 4.2.

De terugverdientijden van het WKO + TEO concept centraal en het WKO + TEO concept decentraal zijn ongeveer 21 jaar en 28 jaar ten opzichte van het referentiesysteem, respectievelijk.



Figuur 4.7 | Kosten-batenanalyse WKO + TEO systeem concept centraal (blauw), WKO + TEO systeem concept decentraal (oranje) en het referentiesysteem (grijs) voor scenario 1 Dordtse Kil IV - totaal.

In Figuur 4.8 zijn de kosten en baten van het WKO + TEO concept decentraal (blauw) uitgezet tegen het referentiesysteem (grijs) met een decentrale warmtepomp en koelmachine over een projectperiode van 30 jaar voor scenario 2 Dordtse Kil IV - groot gebouw. De terugverdientijden van het WKO + TEO concept decentraal is ongeveer 17 jaar ten opzichte van het referentiesysteem bij scenario 2 Dordtse Kil IV - groot gebouw.



Figuur 4.8 | Kosten-batenanalyse WKO + TEO concept decentraal (blauw) en het referentiesysteem (grijs) voor scenario 2 Dordtse Kil IV - groot gebouw.

Conclusie

Op basis van de berekende resultaten kan geconcludeerd worden dat met het WKO + TEO systeem een positief financieel resultaat behaald kan worden ten opzichte van het all-electric referentiesysteem met decentrale warmte- en koude opwekking na 17 jaar in het geval er wordt uitgegaan van een groot gebouw dicht in de buurt van oppervlaktewater. Bij het referentiesysteem wordt warmte geleverd door middel van een lucht/water warmtepomp en koude door middel van een compressiekoelmachine. In het geval dat het gehele gebied van warmte en koude wordt voorzien met behulp van een WKO + TEO systeem is de terugverdientijd minimaal 21 jaar. De energiedichtheid van het totale gebied is relatief laag, daardoor brengt het distributienetwerk grote investeringskosten met zich mee. De onzekerheid in de kosten van het distributienetwerk heeft een grote invloed op de terugverdientijd van het systeem. In de huidige business case is de lengte van het leidingwerk overgenomen uit het rapport van Innoforte (2015). De capaciteit van het leidingwerk is bepaald op de berekende debieten in de huidige studie. De berekende debieten zijn wellicht over gedimensioneerd en kunnen worden geoptimaliseerd. Daarnaast leert ervaring dat de kosten van een distributienetwerk in de praktijk lager kunnen worden.

Zoals aangegeven in paragraaf 3.1 zijn de energetische uitgangspunten geschaald naar een vergelijkbaar bestaande wijk om de business case te kunnen doorrekenen. De daadwerkelijke warmte-/koudevraag voor ruimteverwarming en -koeling kan hierdoor afwijken van de gehanteerde waarden. Verder hebben de vaste en variabele kosten van elektriciteit en gas invloed op de exploitatiekosten. Dit zou de terugverdientijd van het WKO + TEO systeem kunnen beïnvloeden. Daarnaast kan het moment van herinvesteren ook een effect op de terugverdientijd hebben.

Het ligt in de lijn der verwachting dat wanneer het systeem wordt opgeschaald langs de waterlijn, dat de exploitatiekosten en de terugverdientijd nog verder verlaagd kunnen worden in verhouding tot het all-electric concept.

4.5 DUURZAAMHEID

Rendement en emissie

In Tabel 4.14 en *Deze is opgebouwd uit een component warmte emissie van de compressiekoelmachine in het warme seizoen en een component warmte onttrekking oppervlaktewater in het warme seizoen.

Tabel 4.15 is een overzicht gegeven van enkele prestatiefactoren op het gebied van duurzaamheid voor scenario 1 Dordtse Kil IV - totaal en scenario 2 Dordtse Kil IV - groot gebouw. Het equivalent opwekkingsrendement (EOR) is het rendement op primaire energie van de warmte- of koudelevering tot aan de meters voor warmte- en koudelevering. Bij de EOR is rekening gehouden met een opwekkingsrendement in elektriciteitscentrales van 50% (CBS, 2013). De warmte emissie (hittestress) is opgebouwd uit een component warmte emissie van de compressiekoelmachine in het warme seizoen en een component warmte onttrekking oppervlaktewater in het warme seizoen. De CO₂ emissie van WKO + TEO voor het totale gebied ligt tussen de 0 - 3.270 ton/jaar. De CO₂ emissie van het referentiesysteem voor het totale gebied ligt tussen de 0 - 3.802 ton/jaar. Voor één groot gebouw zijn de emissies lager, maar dezelfde trend is zichtbaar. Het verschil in warmte emissie wordt veroorzaakt door de warmte die in het warme seizoen uit het oppervlaktewater wordt gehaald plus de warmte die in het warme seizoen door koelmachines aan de omgeving worden afgegeven. Voor het totale gebied is dit een significante hoeveelheid. Dit is gebaseerd op de emissiefactoren in de Uniforme Maatlat voor 2020. De minimale uitstoot van 0 kan bereikt worden door volledige groene (duurzame) elektriciteitsopwekking. De maximale uitstoot gaat uit van grijze elektriciteitsopwekking (RVO, 2016). Tot slot zijn de NO_x en de SO₂ emissies gegeven (CE Delft, 2015).

Tabel 4.14 | Prestatiefactoren WKO + TEO systeem en referentiesysteem (all-electric) voor scenario 1 Dordtse Kil IV - totaal.

Prestatiefactor	WKO + TEO (groen)	WKO + TEO (grijs)	referentie all- electric (groen)	referentie all- electric (grijs)
Equivalent opwekkingsrendement (EOR)	1,63	1,63	1,40	1,40
Warmte emissie (hittestress) [GJ _{th}]	0	0	68.000*	68.000*
CO ₂ emissie [ton _{CO2} /jaar]	0	3.270	0	3.802
NO _x emissie [kg/jaar]	0	1.140	0	1.266
SO ₂ emissie [kg/jaar]	0	3.230	0	3.587

*Deze is opgebouwd uit een component warmte emissie van de compressiekoelmachine in het warme seizoen en een component warmte onttrekking oppervlaktewater in het warme seizoen.

Tabel 4.15 | Prestatiefactoren WKO + TEO systeem en referentiesysteem (all-electric) voor scenario 2 Dordtse Kil IV - groot gebouw.

Prestatiefactor	WKO + TEO (groen)	WKO + TEO (grijs)	referentie all- electric (groen)	referentie all- electric (grijs)
Equivalent opwekkingsrendement (EOR)	1,63	1,63	1,40	1,40
Warmte emissie (hittestress) [GJ _{th}]	0	0	4.900	4.900
CO ₂ emissie [ton _{CO2} /jaar]	0	234	0	272

NOx emissie [kg/jaar]	0	81	0	90
SO ₂ emissie [kg/jaar]	0	231	0	256

Energieverbruik

In Tabel 4.16 is het energieverbruik (exclusief het opwekkingsrendement van elektriciteit) gepresenteerd voor scenario 1 Dordtse Kil IV - totaal. Het is te zien dat het WKO + TEO systeem significant minder energie verbruikt dan het referentiesysteem om dezelfde warmte en koude te produceren. Bij een elektriciteitsopwekkingsrendement van 50% wordt het primair energieverbruik van een WKO + TEO systeem 54.800 GJ, terwijl het referentiesysteem een primair energieverbruik van 64.400 GJ heeft. Deze verhouding van primair energieverbruik is ook terug te vinden in de verhouding van de EOR in Tabel 4.14. Bij scenario 2 Dordtse Kil IV - groot gebouw is het primair energieverbruik 3.910 GJ en 4.600 GJ, voor het WKO + TEO systeem en het referentiesysteem, respectievelijk.

Tabel 4.16 | Energieverbruik van WKO + TEO systeem en referentiesysteem bij scenario 1 Dordtse Kil IV - totaal.

Energieverbruik	WKO + TEO	Referentie
Elektriciteit		
Warmtepomp [GJ _e]	20.000	31.800
Bronpomp [GJ _e]	3.000	-
Oppervlaktewaterpomp [GJ _e]	1.100	-
Distributiepomp [GJ _e]	3.200	-
Compressiekoelmachine [GJ _e]	-	320
Totaal systeem[GJ]	27.400	32.200

Flora en fauna

Het resultaat van dit concept is ook dat het oppervlaktewater dat wordt verpompt in de zomer enkele graden afkoelt, wat een positief effect heeft op de oppervlaktewaterkwaliteit. Met name in de stedelijke omgeving waar de oppervlaktewatertemperatuur negatief wordt beïnvloed door het stedelijk hitte eiland effect, ontstaan lokale knelpunten met de waterkwaliteit zoals blauwalgen, drijfslagen en botulisme als gevolg van vissterfte. Vaak is dat het gevolg van een overmaat aan voedingsstoffen (eutrofiëring) in combinatie met een te hoge oppervlaktewatertemperatuur waardoor de natuurlijke processen worden versneld. Door het water in beweging te brengen kan het water meer zuurstof opnemen. Dit wordt versterkt door het water enkele graden af te koelen wat de zuurstofopname bevordert. Ook zal kouder water enkele negatieve processen remmen zoals blauwalgenbloei. Hiermee kan de Smart polder bijdragen aan klimaat adaptatie en een toekomst bestendig waterbeheer.

Dit zal niet alle problemen direct wegnemen, maar er zijn wel veel positieve effecten te benoemen te weten:

- De watertemperatuur zal afnemen, wat sturend is voor veel fysische, chemische en biologische processen.
- In koud water kan meer zuurstof opgelost worden.
- Met name in kleine wateren zal door de lozing het water in beweging gebracht worden waardoor meer zuurstof in het water wordt opgenomen (reaeratie).
- De lozing kan de vorming van het giftige waterstofsulfide verminderen, als door de lozing zuurstofarm water zuurstofrijk wordt.
- Verbeterde zuurstofcondities bevordert de binding van fosfaat aan ijzer, waardoor deze minder beschikbaar komt.

- Het koudere water zal afbraak van organisch materiaal remmen en daarmee ook het zuurstof verbruik.
- Het proces van denitrificatie zal afnemen bij een lagere temperatuur.

Met een jaargemiddeld debiet van $440 \text{ m}^3/\text{s}$ ($1.600.000 \text{ m}^3/\text{h}$) noordwaarts zal de invloed van afkoeling van het oppervlaktewater in de Dordtse Kil minimaal zijn. De afkoeling in de zomer van $3 - 6 \text{ }^\circ\text{C}$ met een debiet van $780 \text{ m}^3/\text{h}$ in het concept TEO systeem in de huidige studie, komt overeen met een jaargemiddelde afkoeling van $1 \text{ }^\circ\text{C}$ met een debiet van $1800 \text{ m}^3/\text{h}$. Dit is $\sim 0,1\%$ van het totale debiet. Hoewel dit procentueel weinig lijkt is de energiehoeveelheid die uit het oppervlaktewater gehaald wordt significant. Er wordt $\sim 68.000 \text{ GJ}_{\text{th}}$ in de zomer geladen vanuit het oppervlaktewater. Deze energiehoeveelheid komt overeen met een waterhoeveelheid, vergelijkbaar als de Dordtsche Kil van 250 m breed en 9 m diep en 6.500 m lang, van 14 miljoen m^3 met $1 \text{ }^\circ\text{C}$ te doen afkoelen.

5 Conclusies en aanbevelingen

5.1 TECHNISCHE EN ENERGETISCHE HAALBAARHEID

Uitgangspunten en opwekkingspotentieel

Voor de Dordtse Kil IV in Dordrecht zijn de energetische uitgangspunten bepaald (zie paragraaf 3.2 en 4.1). Daarnaast zijn de bodem- en oppervlaktewaterkenmerken uitgewerkt om het thermische potentieel en de technische haalbaarheid te bepalen (paragrafen 3.3 en 3.4). Dit is gebeurd voor 2 scenario's:

- 1 scenario 1 Dordtse Kil IV - totaal;
- 2 scenario 2 Dordtse Kil IV - groot gebouw.

Het eerste scenario geldt voor het totale gebied de Dordtse Kil IV, terwijl het tweede scenario voor een groot gebouw aan de rand van de rivier de Dordtsche Kil en het gebied de Dordtse Kil IV geldt. De resultaten zijn kort samengevat in Tabel 5.1.

Tabel 5.1 | Kern uitgangspunten, technische haalbaarheid en thermisch potentieel voor de Dordtse Kil IV in Dordrecht.

Parameter	Scenario 1	Scenario 2
	Dordtse Kil IV - totaal	Dordtse Kil IV - groot gebouw
Kern uitgangspunten		
Gebouwen	Mix van logistiek, opslag en industrie	Mix van logistiek, opslag en industrie
Warmtevraag	24.400 MWh _{th} (87.750 GJ _{th}) per jaar	1.750 MWh _{th} (6.300 GJ _{th}) per jaar
Koudevraag	360 MWh _{th} (1.290 GJ _{th}) per jaar	33 MWh _{th} (92 GJ _{th}) per jaar
Doelstellingen	Duurzaam en all-electric	Duurzaam en all-electric
Technische haalbaarheid		
Capaciteit bodem: benodigd	17.000 MWh _{th} , 1.075 m ³ /h	1.230 MWh _{th} , 75 m ³ /h
	14 doubletten van 75 m ³ /h	1 doublet van 75 m ³ /h
Capaciteit oppervlaktewater: benodigd	18.400 MWh _{th} , 780 m ³ /h	1330 MWh _{th} , 58 m ³ /h

Er kan worden geconcludeerd dat op de onderzochte locatie (Dordtse Kil IV en de rivier de Dordtsche Kil) duurzame energieopwekking uit het oppervlaktewater in combinatie met energieopslag, technisch en energetisch haalbaar is.

Systeemconcept

Voor de levering van de opgewekte energie aan de afnemers zijn 2 systeemconcepten geselecteerd en uitgewerkt: 1) concept centraal en 2) concept decentraal. De overwegingen bij de concepten zijn toegelicht in paragraaf 4.1. Voor scenario 1 zijn beiden concepten doorgerekend, voor scenario 2 is concept decentraal doorgerekend. In grote lijnen betreft het een monovalent systeem met warmte uit oppervlaktewater in combinatie met een WKO systeem. De warmte wordt opgewaardeerd met een warmtepomp. In de zomer wordt direct koude geleverd vanuit de koude bron. Regeneratie van warmte vindt plaats vanuit de Dordtsche Kil.

Er is sprake van een 100% elektrisch aangedreven warmte- en koude voorziening. Het concept is dus aardgasloos. Naast het leveren van duurzame warmte en koude levert dit TEO concept ook een positieve bijdrage aan de doelstellingen op het gebied van klimaatadaptatie en water.

5.2 RUIMTELIJKE INPASSING

Inpassen voorzieningen

Voor de realisatie van het systeem dienen onder meer de volgende onderdelen te worden ingepast:

- in- en uitlaat oppervlaktewatersysteem:
 - scenario 1 Dordtse Kil IV - totaal: 780 m³/h;
 - scenario 2 Dordtse Kil IV - groot gebouw: 58 m³/h.
- WKO doubletten:
 - scenario 1 Dordtse Kil IV - totaal: 1075 m³/h (14 doubletten);
 - scenario 2 Dordtse Kil IV - groot gebouw: 75 m³/h (1 doublet).
- technische ruimte (warmtepomp(en) en warmtewisselaars);
- distributieleidingen warmte en koude naar gebouwen;
- distributieleidingen WKO systeem;
- distributieleidingen TEO systeem;
- aansluitleidingen ten behoeve van de aan te sluiten panden.

In paragraaf 4.2 staan de onderdelen en inpassingsmogelijkheden benoemd. In Figuur 4.5 is de inpassing van de onderdelen grafisch weergegeven. Aandachtspunt is onder meer de inpassing van de technische ruimte, doublet, distributienet en het oppervlaktewatersysteem bij een waterkering (dijk). Voor beide voorzieningen geldt dat er nauw dient te worden afgestemd met de gebiedscoördinator. Locatie en toegankelijkheid (zowel in realisatie als exploitatiefase) dienen geborgd te worden. Er dient een ruimte gereserveerd te worden voor de technische ruimte.

Juridische knelpunten

Op juridisch gebied worden vooralsnog geen knelpunten voorzien voor de realisatie van de energievoorziening.

Impact directe leefomgeving

De voorzieningen kunnen grotendeels uit het zicht van de omgeving worden gerealiseerd (ondergronds of in pandig). De bronputten kunnen, desgewenst, juist uit het landschap worden getild en gebruikt worden om de aandacht te vestigen op de duurzame energievoorziening. De voorziening veroorzaakt geen lokaal merkbare uitstoot of geluidsoverlast. Koud water uit de retour van het oppervlaktewater systeem kan geloosd worden op de Dordtsche Kil.

Energierendement en uitstoot

Voor het geheel van de energielevering, opwekking, distributie en afgifte tot aan afgiftesets bij de afnemers wordt voor WKO + TEO een equivalent opwekkingsrendement (EOR) van 1,63 verwacht. De vergelijking is gemaakt met een all-electric systeem (lucht/water warmtepomp en compressiekoelmachine) die voor een vergelijkbare warmte- en koudevraag een EOR van 1,40 heeft. Door duurzaam te koelen kan er 1.609 GJ_{th} warmte emissie aan de atmosfeer voorkomen worden. Daarnaast wordt er in het warme seizoen meer dan 66.000 GJ_{th} aan het oppervlaktewater onttrokken bij scenario 1 Dordtse Kil IV - totaal. Bij scenario 2 Dordtse Kil IV - groot gebouw is dit

naar verhouding 115 GJ_{th} en ~4.800 GJ_{th} voor duurzame koeling en oppervlaktewater, respectievelijk.

Het uitgewerkte concept WKO + TEO maakt gebruik van duurzame bronnen en is 100% elektrisch aangedreven. De complete voorziening kan energieneutraal gemaakt worden door aan te sluiten op groene (duurzame) stroom. In dat geval kan de CO₂ uitstoot tot 0 gereduceerd worden. In het slechtste geval (100% grijze stroom) is de CO₂ uitstoot met 3.270 ton/jaar alsnog significant lager dan een all-electric systeem (lucht/water warmtepomp en compressiekoelmachine) met 3.802 ton/jaar voor scenario 1 Dordtse Kil IV - totaal. In het geval van scenario 2 Dordtse Kil IV - groot gebouw is de CO₂ uitstoot 234 ton/jaar voor WKO + TEP en 272 ton/jaar voor de all-electric oplossing.

5.3 FINANCIËLE HAALBAARHEID

De investeringskosten, inkomsten en jaarlijkse exploitatiekosten van de WKO + TEO concepten zijn vergeleken met een all-electric systeem (lucht/water warmtepomp en compressiekoelmachine (decentraal)). Er kan worden geconcludeerd dat een individueel WKO + TEO systeem in de buurt van oppervlaktewater de meest interessante oplossing biedt en de haalbaarheid van een collectief systeem voor het totale gebied een beperkte financiële haalbaarheid heeft. Dit wordt veroorzaakt door de relatief lage energiedichtheid van het totale gebied. De financiële haalbaarheid van scenario 2 Dordtse Kil IV - groot gebouw is het meest aantrekkelijk gebleken. De terugverdientijd van dit scenario is ~17 jaar ten opzichte van het all-electric referentie systeem. Bij scenario 1 Dordtse Kil IV - totaal centraal en decentraal zijn de terugverdientijden ongeveer 21 jaar en 28 jaar ten opzichte het referentiesysteem. De terugverdientijd is afhankelijk van meerdere factoren. Belangrijke parameters die het resultaat kunnen beïnvloeden zijn de energiekosten voor elektriciteit, herinvesteringskosten en de investeringskosten van het distributienet bij WKO + TEO. Er wordt verwacht dat er ruimte in de kosten van het leidingwerk zit, omdat het systeem nu op maximale capaciteit is doorgerekend. Daarnaast kan er een optimalisatie plaatsvinden bij de definitieve indeling van het bedrijfsgebied ten gunste van WKO + TEO door de afhankelijkheid van het leidingnet. Verder kan een opschaling van het systeem in de buurt van oppervlaktewater zorgen voor daling van de terugverdientijd. Er wordt verwacht dat de terugverdientijd van ~17 jaar lager wordt in het geval er meer bedrijven langs de rand van de rivier de Dordtsche Kil worden aangesloten.

Naast dat het oppervlaktewater van de rivier de Dordtsche Kil gebruikt kan worden om de warme bron te laden, kan oppervlaktewater (bijv. watergangen, sloten en rioolwater) in het gebied de Dordtse Kil IV een uitkomst bieden. Dit zorgt ervoor dat er geen oppervlaktewatersysteem bij de waterkering hoeft te worden aangelegd. Tevens is het oppervlaktewater in het gebied veel gevoeliger voor opwarming en lokale knelpunten met de waterkwaliteit.

5.4 SPOORBOEKJE

Zoals geschetst in het plan van aanpak (paragraaf 2.2) zou de vervolgstap op deze business case het creëren van draagvlak bij de stakeholders kunnen zijn om het project verder te brengen. De plannen voor de ontwikkeling van de Dordtse Kil IV zijn al in een gevorderd stadium. Hierbij ligt de nadruk op een duurzame energiehuishouding. Uit de huidige studie is gebleken dat integratie van WKO + TEO in dit ontwerp een meerwaarde kan hebben gezien de thermische onbalans. Hierbij is het wel belangrijk dat TEO op een juiste wijze wordt geïntegreerd in het installatie concept. Voor

het vervolg is het van belang dat dit wordt afgestemd met de belanghebbenden. Hierbij is het raadzaam om voorwaarden voor het vervolg vast te leggen in een intentieovereenkomst tussen de belanghebbenden. Vervolgens kan de verdiepingsfase plaats vinden waarin de kaders voor het project scherper worden uitgewerkt. Een belangrijke vraag voor het vervolg in het geval van scenario 1 Dordtse Kil IV - totaal is wie de exploitatie van het collectieve systeem kan gaan doen. Hiervoor zijn verschillende opties, die direct invloed zullen hebben op het project rendement. Dit komt doordat een groot deel van de kosten in de infrastructuur zit die over langere termijn kan worden afgeschreven, als dit past binnen het verdienmodel van de exploitant.

6 Referenties

Brink (2015), CO₂-PRIJS EN VEILINGOPBRENGSTEN IN DE NATIONALE ENERGIEVERKENNING 2015. Achtergronden bij de projecties. PBL-notitie 1900, PBL Planbureau voor de Leefomgeving, Den Haag. Verkregen op 4 september, 2017 van http://www.pbl.nl/sites/default/files/cms/publicaties/pbl_2015__co2-prijs-en-veilingopbrengsten-in-de-nationale-energieverkenning-2015_1900.pdf.

CBS (2013). Rendementen en CO₂-emissie van elektriciteitsproductie in Nederland, update 2013. Verkregen op 4 juli, 2017 van <https://www.cbs.nl/nl-nl/achtergrond/2015/04/rendementen-en-co2-emissie-van-elektriciteitsproductie-in-nederland-update-2013>.

CE Delft (2015). Emissiekentallen elektriciteit: Kentallen voor grijze en 'niet-geormerkte stroom' inclusief upstream-emissies. Verkregen op 4 juli, 2017 van http://www.ce.nl/publicatie/emissiekentallen_elektriciteit/1599.

EZ (2016). Energierapport - Transitie naar duurzaam. Verkregen op 20 juli, 2017 van <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2016/01/18/energierapport-transitie-naar-duurzaam>.

IF Technology (2015). Bodemenergieplan gemeente Dordrecht - Plan voor stimulering en ordening van bodemenergie.

IF Technology (2016a). Landelijke verkenning warmte en koude uit Rijkswateren en kunstwerken. Eindrapportage 7 oktober 2016. Verkregen op 20 juli, 2017 van <https://www.uvw.nl/wp-content/uploads/2016/10/IF-Technology-Onderzoek-potentieel-warmte-koudeopslag-Waterschappen-2016.pdf>.

IF Technology (2016b). Landelijke verkenning warmte en koude uit het watersysteem. Eindrapportage 31 juli 2016. Verkregen op 20 juli, 2017 van <https://www.uvw.nl/wp-content/uploads/2016/10/IF-Technology-Onderzoek-potentieel-warmte-koudeopslag-Rijkswaterstaat-2016.pdf>.

Innoforte (2015). Energievisie Dordtse Kil IV. Roosmarijn Sweers, persoonlijke communicatie, 9 juni, 2017.

KNMI (2015). KNMI klimaatscenario's voor Nederland '14. Verkregen op 29 juni, 2017 van http://www.klimaatscenarios.nl/brochures/images/KNMI14_Klimaatscenarios_folder_2015.pdf.

PBL (2017). Toekomstbeeld klimaatneutrale warmtenetten in Nederland. Verkregen op 20 juli, 2017 van <http://www.pbl.nl/sites/default/files/cms/publicaties/pbl-2017-toekomstbeeld-klimaatneutrale-warmtenetten-in-nederland-1926.pdf>.

RVO (2016). Uniforme Maatlat Gebouwde Omgeving (UMGO) voor de warmtevoorziening in de woning- en utiliteitsbouw. Verkregen op 12 mei, 2017 van <https://www.rvo.nl/sites/default/files/2016/09/Uniforme%20Maatlat%20Gebouwde%20Omgeving%20UMGO%204.0%20-%2021%20september%202016.pdf>.

7 Afkortingen

BAK	bijdrage aansluitkosten
BC	business case
BVO	bruto-vloeroppervlakte
CAPEX	capital expenditures
EIA	energie-investeringsaftrek
EOR	equivalent opwekkingsrendement
ISDE	investeringssubsidie duurzame energie
LBK	luchtbehandelingskast
LSC	Lake Source Cooling
NCW	Netto Contante Waarde
OPEX	operating expenditures
SO	schetsontwerp
TEO	thermische energie uit oppervlaktewater
TR	technische ruimte

Bijlage 1

Conceptbeschrijvingen

TEO/Smart polder

7.1 PRINCIPE SMART POLDER - TEO

Potentie van energie uit oppervlaktewater

Voor de waterschappen en Rijkswaterstaat is in 2016 de potentie van TEO in kaart gebracht. Deze kaarten laten zien waar het economisch interessant is om warmte of koude uit oppervlaktewater te winnen. Om een economisch interessant project te kunnen maken moeten waterlopen en plassen in de nabijheid liggen van een warmte en/of koudevraag. Door de thermische vraag uit de warmteatlas te combineren met de kaart van Nederlandse oppervlaktewateren is een potentiekaart gemaakt (zie onderstaande link).

<http://www.nationaleenergieatlas.nl>

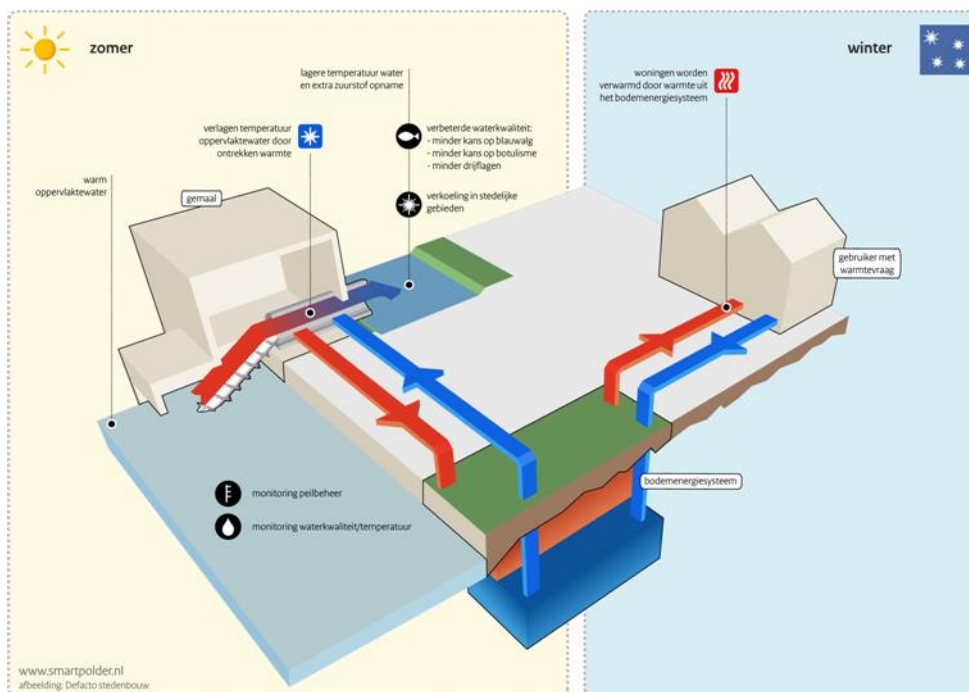
Daar waar energievraag en oppervlaktewater samenkomen is een economische rendabel project te maken. Op basis van de huidige energievraag is het economisch winbare potentieel 12% van de landelijke warmtevraag (42 PJ) en 54% van de landelijke koudevraag (3,8 PJ).

Het Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden en Utrechtse gemeenten hebben deze landelijke verkenning uitgewerkt in een meer gedetailleerde regionale kanskaart (zie onderstaande link) voor de identificatie van kansrijke locaties voor het toepassen van TEO.

<https://www.hdsr.nl/werk/water-energiebron>

Warmte uit oppervlaktewater

Thermische energie in de vorm van warmte in oppervlaktewater in de zomer, kan worden omgezet in hoogwaardige warmte met een warmtepomp voor verwarming van gebouwen of de bereiding van warm tapwater. Dit is bijzonder goed toepasbaar bij afnemers met een overwegende warmtevraag zoals woningen. De grote potentie zit in de combinatie van warmtewinning uit oppervlaktewater met een seizoensopslag zoals een bodemenergiesysteem (= warmte-/koudeopslag = WKO). Hierbij wordt gebruik gemaakt van het natuurlijke temperatuurverschil van het oppervlaktewater in de zomer de temperatuur van grondwater (ca. 12 °C). In de zomer kan daarmee warmte uit het oppervlaktewater worden gewonnen en worden opgeslagen in een WKO (zie Figuur 22). Deze warmte kan in de winter vervolgens weer worden opgepompt om te dienen als warmtebron voor de warmtepomp. Hiermee kan op een zeer duurzame wijze warmte worden geproduceerd. De warmte kan zeer efficiënt worden gewonnen op een gemaal of stuw aangezien daar al water stroomt.



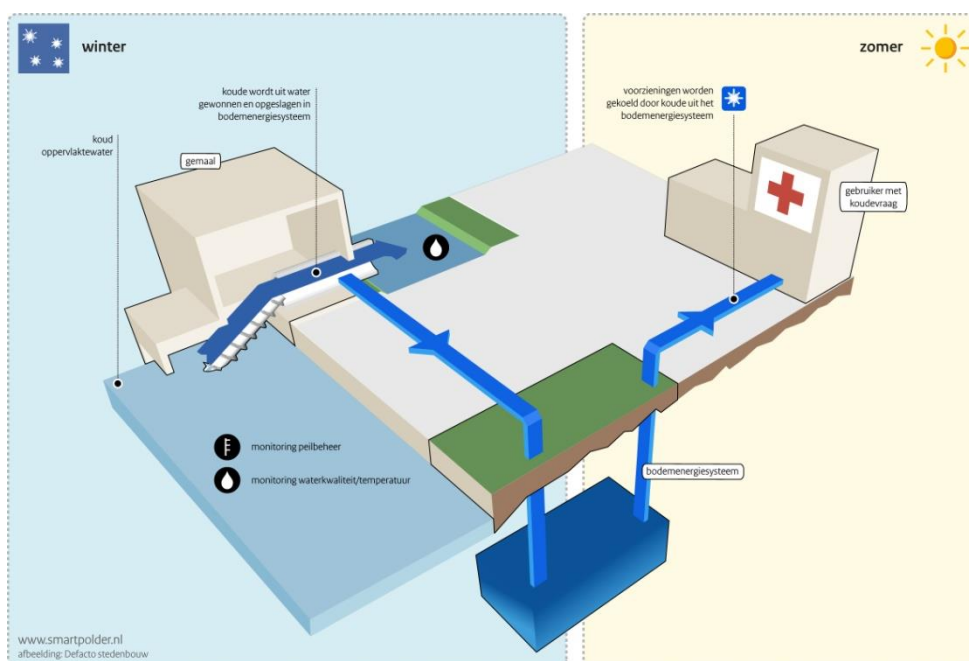
Figuur 7.1 | Gemaal als warmte centrale in combinatie met WKO.

Het resultaat van dit concept is ook dat het oppervlaktewater dat wordt verpompt in de zomer enkele graden afkoelt, wat een positief effect heeft op de oppervlaktewaterkwaliteit. Met name in de stedelijke omgeving waar de oppervlaktewatertemperatuur negatief wordt beïnvloed door het stedelijk hitte eiland effect, ontstaan lokale knelpunten met de waterkwaliteit zoals blauwalgen, drijfslagen en botulisme als gevolg van vissterfte. Vaak is dat het gevolg van een overmaat aan voedingsstoffen (eutrofiëring) in combinatie met een te hoge oppervlaktewatertemperatuur waardoor de natuurlijke processen worden versneld. Door het water in beweging te brengen kan het water meer zuurstof opnemen. Dit wordt versterkt door het water enkele graden af te koelen wat de zuurstofopname bevordert. Ook zal kouder water enkele negatieve processen remmen zoals blauwalgenbloei. Hiermee kan de Smart polder bijdragen aan klimaat adaptatie en een toekomst bestendig waterbeheer. Dit zal niet alle problemen direct wegnemen, maar er zijn wel veel positieve effecten te benoemen te weten:

- De watertemperatuur zal afnemen, wat sturend is voor veel fysische, chemische en biologische processen.
- In koud water kan meer zuurstof opgelost worden.
- Met name in kleine wateren zal door de lozing het water in beweging gebracht worden waardoor meer zuurstof in het water wordt opgenomen (reaeratie).
- De lozing kan de vorming van het giftige waterstofsulfide verminderen, als door de lozing zuurstofarm water zuurstofrijk wordt.
- Verbeterde zuurstofcondities bevordert de binding van fosfaat aan ijzer, waardoor deze minder beschikbaar komt.
- Het koudere water zal afbraak van organisch materiaal remmen en daarmee ook het zuurstof verbruik.
- Het proces van denitrificatie zal afnemen bij een lagere temperatuur.

Koude uit oppervlaktewater

In de winter kan ook koude worden gewonnen uit oppervlaktewater en worden opgeslagen in een WKO voor gebruik in de zomerperiode (zie Figuur 7.2). Dit concept is interessant voor afnemers met een overwegende koudevraag zoals datacenters, ziekenhuizen en industrie. Hiermee kan zonder aanvullende technieken zeer duurzame koeling worden geleverd met lage temperaturen (7 à 9 °C). Ook hier kan rechtstreeks koude worden geleverd als de temperatuur van het oppervlaktewater laag genoeg is. Door grote capaciteiten van gemalen is bij een beperkte temperatuurverandering al een zeer groot koude vermogen beschikbaar en dat maakt thermische winning op gemalen erg interessant.



Figuur 7.2 | Gemaal als koudecentrale in combinatie met WKO.

Inlaat en uitlaat bij onttrekkingspunt TEO systeem

In Figuur 7.3 is de kadeafwerking bij een inlaat van een TEO systeem te zien. De inlaat in de kade is boven water geplaatst en afgewerkt onder een steiger. In Figuur 7.4 is een alternatief te zien, waarbij de inlaat van het TEO systeem onder water is geplaatst, volledig uit het zicht.

De inlaat kan ook als kade doorvoer worden gemaakt, daarmee is er geen object in de watergang.

De uitlaat kan onzichtbaar worden afgewerkt in de kademuur.



Figuur 7.3 | Inlaat van een TEO systeem. De inlaat is boven water geplaatst onder een steiger.

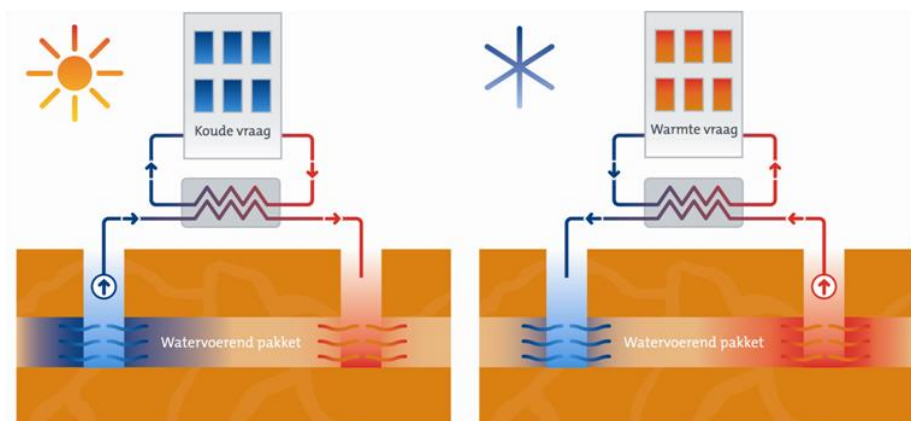


Figuur 7.4 | Inlaat van een TEO systeem. De inlaat is onder water geplaatst onder een steiger.

7.2 PRINCIPE WARMTE- EN KOUDE OPSLAG (WKO)

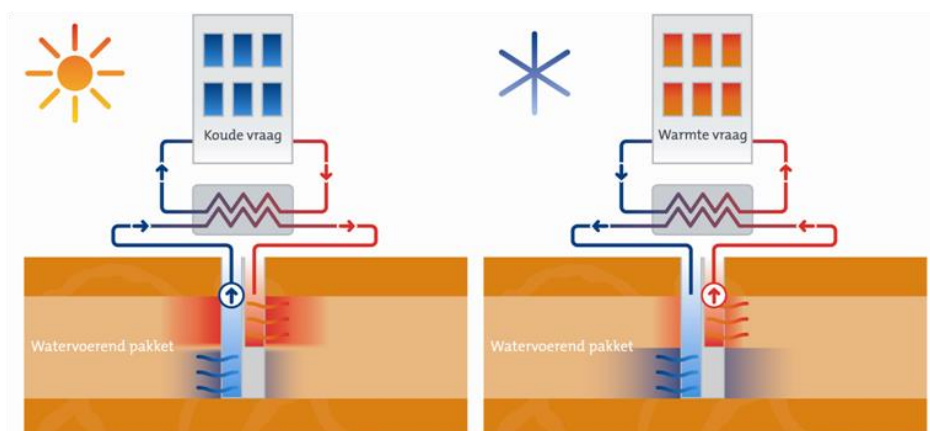
Het principe van een WKO met een open grondwatersysteem is dat in de winter het gebouw of proces wordt verwarmd met zomerwarmte en in de zomer wordt gekoeld met winterkoude. De warmte en koude worden door middel van open bronnen in een ondergrondse watervoerende laag opgeslagen en onttrokken.

Toepassing van dit principe kan op meerdere manieren. Bijvoorbeeld met een aparte warme en koude bron (een doublet) in hetzelfde watervoerende pakket. Hierbij worden beide bronnen met voldoende onderlinge afstand gerealiseerd om negatieve invloed te beperken. Dit is schematisch weergegeven in Figuur 7.5.



Figuur 7.5 | Principe van energieopslag met een doublet.

Naast de toepassing van een doublet is het mogelijk een monobron te realiseren. Hierbij worden de warme en koude bron niet naast elkaar, maar onder elkaar in één boorgat in hetzelfde watervoerende pakket geplaatst. Hiervoor is het noodzakelijk dat op de projectlocatie een voldoende dik watervoerend pakket aanwezig is. Het principe van energieopslag met een monobron is weergegeven in Figuur 7.6.



Figuur 7.6 | Principe van energieopslag met een monobron.

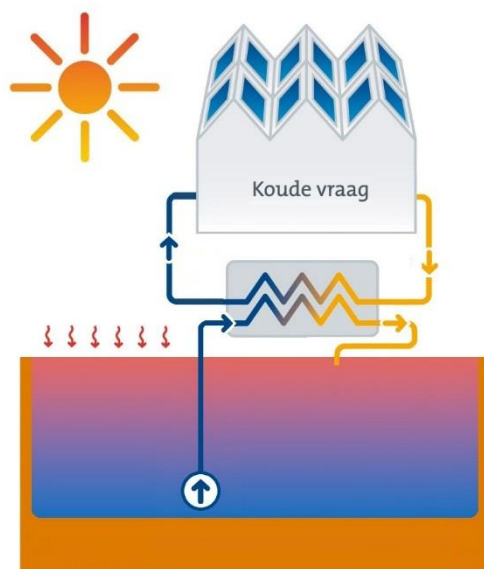
Een WKO dient in energiebalans te zijn, de hoeveelheid gewonnen koude dient doorgaans gelijk te zijn aan de gewonnen warmte. Indien er bij een afnemer een energieonbalans is (overwegende warmtevraag bij woningen en overwegende koudevraag bij datacenters en industrie) kan deze worden aangevuld met warmte of koude uit oppervlaktewater.

7.3 KOUDE UIT DIEPE PLASSEN

In diepe meren is van nature een voorraad koude aanwezig. Deze koude blijft door een natuurlijk fenomeen (stratificatie) voor een groot deel geïsoleerd van de zomerwarmte. Door de temperatuurverschillen van de seizoenen zal de koude in de winter weer worden aangevuld. Bij Lake Source Cooling (LSC) wordt deze koude opgepompt en benut voor bijvoorbeeld de koeling van gebouwen of processen. In Figuur 7.7 is een schematische voorstelling gemaakt van dit concept.

Gerealiseerde systemen in Nederland zijn:

- Ouderkerkerplas te Amsterdam NUON;
- Nieuwe Meer te Amsterdam NUON;
- Eeserwold te Steenwijk URcool (Unica/Roelofs);
- Strandpark Slijk- Ewijk Cobb Herveld.



Figuur 7.7 | Diepe onttrekking met LSC voor koude levering.

Het water dat uit de plas wordt onttrokken kan op diverse manieren worden geloosd/ingezet. Als de waterkwaliteit van de plas slecht is (hoge nutriëntenlast) kan de lozing gecombineerd worden met een helofytenfilter (biocascade). Hierdoor worden de nutriënten afgevangen voordat het water weer terug stroomt in de plas. Ook kan het water worden ingezet als watervoorziening van de omliggende polders. Deze variant wordt toegepast in Herveld waar de lozing op de naastliggende A-watergang gebeurt. Hierdoor wordt het relatief koele en schone water ingezet als watervoorziening tijdens de warme en droge dagen. De plas zal hiermee als alternatieve bron voor zoetwater gaan werken.

In de onderstaande links staan koppelingen naar relevante documenten over de ontwikkeling van TEO en de plaats van TEO (Smart polder/aquathermie) in het toekomstige energielandschap.

Rapport PBL toekomstbeeld klimaat neutrale warmtenetten:

<http://www.pbl.nl/sites/default/files/cms/publicaties/pbl-2017-toekomstbeeld-klimaatneutrale-warmtenetten-in-nederland-1926.pdf>

Green Deal Energie Waterschappen:

http://www.stowa.nl/publicaties/publicaties/slim_samenwerken_aan_groene_waterschappen__van_green_deal_naar_praktijkonderzoek

Rapport EEP 2017-2020 MJA:

<https://www.uvw.nl/wp-content/uploads/2017/03/Arcadis-Klimaatmonitor-waterschappen-2016.pdf>

Bijlage 2

Energieconceptvorming gebouwinstallatie

Afwegingen bij energieconceptvorming

Bij de toepassing van bodemenergiesystemen zijn verschillende concepten mogelijk. Afhankelijk van de randvoorwaarden binnen een project bepaald het concept voor een groot deel de financiële, technische en juridische haalbaarheid. Belangrijke aspecten binnen een concept zijn:

- gebouwinstallatie;
- wijze van warmte en koude laden;
- distributienet;
- tapwaterbereiding;
- inzet componenten;
- ruimtegebruik inpandig.

De keuze voor de gebouwinstallatie en de wijze van warmte en koude laden zijn vaak bepalende keuze voor de financiële, technische en juridische haalbaarheid. Binnen de kaders van de hierin gemaakte keuzes, zijn over het algemeen verschillende ontwerpvarianten mogelijk voor wat betreft de overige aspecten.

In navolgende alinea's wordt toelichting gegeven op de overwegingen bij het kiezen van een concept voor de gebouwinstallatie.

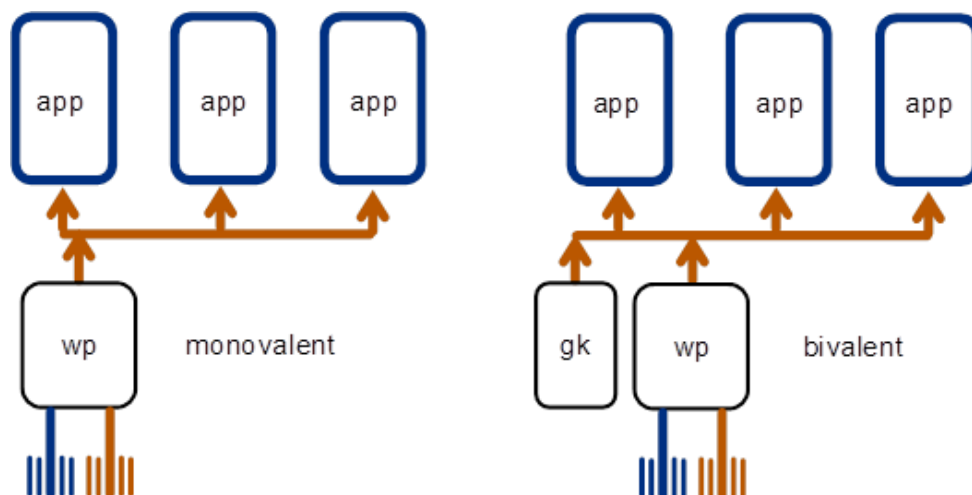
Gebouwinstallatie

Voor de gebouwsystemen kan gekozen worden voor monovalente of bivalente systemen. Beide systemen zijn schematisch weergegeven in Figuur 7.8. Een korte toelichting aan de hand van warmtelevering volgt hieronder:

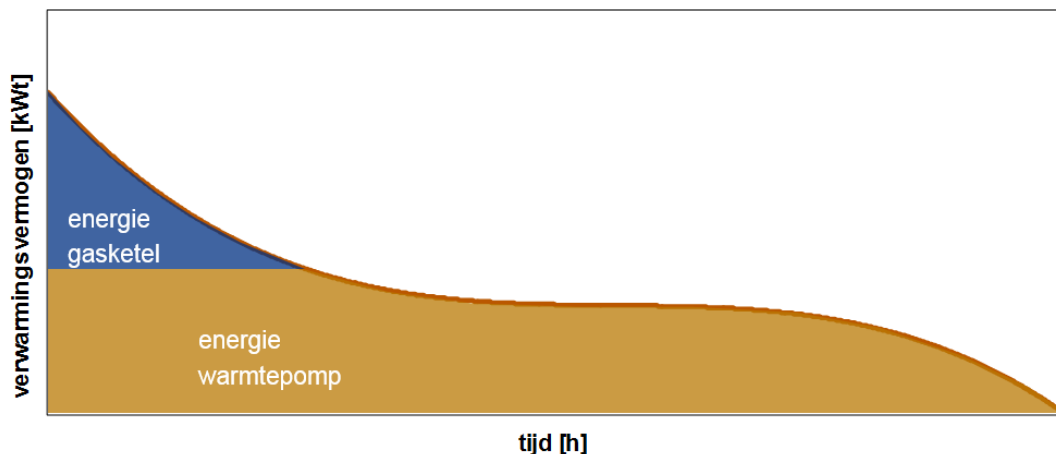
- Monovalent:** Appartementen (app) hebben een warmtevraag (ruimteverwarming en tapwaterbereiding). Bij een monovalent systeem wordt één omzetter gebruikt die alle warmte levert. In het voorbeeld (zie Figuur 7.8) is dit een warmtepomp (wp) in combinatie met energieopslagsysteem.
- Bivalent:** Bij een bivalent systeem wordt gebruik gemaakt van twee omzetters voor de warmtelevering. In het voorbeeld levert een warmtepomp in combinatie met een energieopslagsysteem een deel van de warmte. Het andere deel van de warmte wordt geleverd door bijvoorbeeld een gasketel (gk).

Veelal draait één omzetter (bijvoorbeeld de warmtepomp) op een basislast en levert hiermee een groot deel van de warmte terwijl de andere omzetter ingezet wordt als piekdekking en slechts een klein deel van de warmte levert. Dit is schematisch weergegeven in Figuur 7.9 aan de hand van een jaarbelastingduurcurve. Een jaarbelastingduurcurve is een rangschikking van het

verwarmingsvermogen gedurende een heel jaar. Het is te zien dat het maximale verwarmingsvermogen slechts een paar uur per jaar nodig is. Doorgaans ligt het benodigd verwarmingsvermogen ver onder het maximale vermogen. Hierdoor kan met een beperkt vermogen nog steeds een groot deel van de totale warmtevraag geleverd worden.



Figuur 7.8 | Monovalent vs. Bivalent systeem (schematisch)



Figuur 7.9 | Jaarbelastingduurcurve.

De afweging tussen beide systeemconcepten is afhankelijk van een aantal criteria zoals duurzaamheid, financieel, leveringszekerheid en inpassing. Deze zijn hieronder beschreven.

Duurzaamheid

Zowel bij directe koudelevering als bij warmtelevering door warmtepompen in combinatie met het bodemenergiesysteem wordt energiebesparing en CO₂-emissiereductie gerealiseerd ten opzichte van de referentievariant. Vanuit duurzaamheidoverwegingen heeft een monovalent systeem de voorkeur. De CO₂-emissiereductie is bij een monovalent systeem maximaal. Bij een bivalent systeem bedraagt de CO₂-emissiereductie circa 50-80% ten opzichte van de maximale CO₂-emissiereductie.

Financieel

Zowel koudelevering als warmtelevering kunnen monovalent of bivalent worden uitgevoerd. Van beide situaties wordt voorafgaand aan de uitwerking het optimale systeemconcept bepaald.

Warmtelevering

Warmtelevering met een bodemenergiesysteem vindt bijna altijd plaats in combinatie met een warmtepomp. Wanneer er voor warmtelevering gebruik wordt gemaakt van een bivalent systeem, draait een warmtepomp vaak op een lage basislast en levert hiermee een groot deel van de benodigde warmte. Een ketel wordt in dit geval ingezet voor piekdekking. De investeringskosten voor een warmtepomp liggen hoger dan voor een gasketel (ca. factor 3). Door een bivalent systeem toe te passen in plaats van een monovalent systeem blijven de meer investeringen beperkt. De energiebesparing ligt bij een monovalent systeem hoger. Maar doordat de warmtepomp bij een basislast een groot deel van totale energievraag levert, zijn de besparingen voor energieverbruik beperkt. Ervaring leert dat vanuit financieel oogpunt de toepassing van een bivalent systeemconcept optimaal is.

Koudelevering

Eén van de grote voordelen van bodemenergiesystemen is dat direct gekoeld kan worden in combinatie met een hoge temperatuur koelsysteem. Koud grondwater wordt opgepompt uit de koude bron en in een warmtewisselaar wordt de koude overgedragen aan het gebouwzijdige circuit. Bij directe koeling wordt (veel) minder elektrische energie verbruikt dan bij conventionele compressiekoelmachines. Dit vertaalt zich naar primaire energiebesparing, CO₂-emissiereductie en lagere exploitatiekosten.

Leveringszekerheid

Een voordeel van de bivalente variant is dat de leveringszekerheid hoger ligt dan bij de monovalente variant. Doordat gebruik wordt gemaakt van een warmtepomp en een ketel, kan bij wegvallen van één van deze componenten de andere component (een deel) van de warmte blijven leveren.

Inpassing

Bij een monovalent systeem wordt alle energie en vermogen onttrokken aan de bodem. Hierdoor wordt de bodem zwaarder belast en wordt het grondwatersysteem groter (meer bronnen, grotere afstand tussen de bronnen). Bij beperkte oppervlak van het perceel kan dit problematisch zijn voor de inpassing.

IF Technology **Creating energy**



Velperweg 37
6824 BE Arnhem
Postbus 605
6800 AP Arnhem

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

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

IF Technology **Creating energy**