



**stowa**

**ECOFYS**

**TU Delft**



**Tauw**

---

# **De Draai Heerhugowaard**

**Verkenning technische en financiële haalbaarheid  
watersysteem als energieleverancier**

**Definitief 17 januari 2007**







## Samenvatting

### Inleiding

Het Leven met Water project 'Transities naar meer duurzame concepten van stedelijk waterbeheer' richt zich op het ontwikkelen van baanbrekende, vernieuwende concepten waarbij het stedelijke watersysteem en -keten in onderlinge samenhang worden onderzocht. Een ander belangrijk onderdeel is het uitwerken van de kansen die er liggen op het grensvlak van waterbeheer en energievoorziening.

De gemeente Heerhugowaard ligt in een polder op de grens van de drooggemaakte Hollandse meren en het oorspronkelijke getijdengebied van West Friesland. De locatie 'De Draai' is een ontwikkelingsgebied voor 2800 - 3000 woningen dat aan de oostkant van Heerhugowaard is gesitueerd, dicht bij het centrum. De wijk zal ontwikkeld worden door middel van een langer dan gebruikelijk ontwikkeltraject, met gegroeide rijkdom en diversiteit, waarin innovatieve aspecten een belangrijke rol moeten gaan spelen. Gedacht moet worden aan een adaptief, vraaggestuurd stedenbouwkundig plan. Dit plan kan gedurende de ontwikkeling aangepast worden aan veranderende wensen van bewoners en de gemeente. Was bij de ontwikkeling van 'De Stad van de Zon', duurzame energie de voornaamste ambitie, bij de nieuwe te ontwikkelen wijk 'De Draai' is dat met name een gesloten oppervlaktewatersysteem dat gebiedseigen water vasthoudt en een ontwikkelingsproces met gesloten grondbalans.

### Concept

Dit rapport is een verkennende studie naar de haalbaarheid van het watersysteem als energieleverancier in De Draai, Heerhugowaard. Dit concept bestaat onder andere uit het onttrekken van warmte aan het oppervlaktewater in de zomer. Hierdoor koelt het watersysteem 1,6°C af in de zomermaanden. De gewonnen warmte wordt opgeslagen in het grondwater waarna deze warmte in de winter gebruikt wordt om huizen te verwarmen. De volgende conclusies kunnen worden getrokken aangaande het concept

- Het concept is technisch haalbaar
- De CO<sub>2</sub> uitstoot neemt met 60% af ten opzichte van een conventioneel systeem
- De terugverdientijd is 10 jaar, met een bijdrage voor koeling, zonder deze bijdrage is dit 15 jaar
- De effecten van klimaatverandering op het watersysteem, blijven door toepassing van het concept voor een deel achterwege
- Het concept kan worden ingepast in een maatregelenplan voor de Europese Kaderrichtlijn Water

### **Principe KWO**

Conventioneel worden gebouwen in Nederland in hun behoefte aan warmte voorzien door aardgasgestookte ketels. Voor de te ontwikkelen woonwijk, De Draai, aan de oostkant van Heerhugowaard, is een energievisie ontwikkeld, waarin de energievraag van de woonwijk wordt geleverd door de aanleg van een collectief systeem. Het gaat hierbij specifiek om het concept Koude-/Warmteopslag (KWO), waarbij energie in het grondwater opgeslagen wordt.

In de winter wordt warmte uit de ondergrond onttrokken om daarmee de huizen te verwarmen (er wordt "koude in de ondergrond geladen"). In de zomer wordt warmte uit de huizen onttrokken om warmte te laden in de ondergrond).

In het warmtepompconcept wordt warmte uit de ondergrond gebruikt om de huizen te verwarmen terwijl in het gasketelconcept alle warmte via verbranding van gas opgewekt moet worden. Als gevolg hiervan heeft het gasketelconcept dus ook een veel hogere CO<sub>2</sub>-emissie. Het verschil met het KWO-systeem bedraagt ca. 60%.

### **Bodemaspecten**

Geconcludeerd wordt dat de bodemopbouw geschikt is voor KWO. Uit analyse van boringen blijkt dat de scheidende laag tussen de watervoerende pakketten ontbreekt. Er zal géén menging van zoet en brak grondwater plaatsvinden indien de onttrekking en infiltratie plaatsvindt vanaf 20 m onder maaiveld. Op drie locaties in de omgeving van het plangebied vinden grondwateronttrekkingen plaats. Grondwateronttrekkingen voor KWO in 'De Draai' zullen geen negatieve gevolgen hebben op deze onttrekkingen

Voor het ondergrondse systeem van bronnen, waarmee de koude -warmteopslag wordt gerealiseerd, moet in het kader van de Grondwaterwet (Gww) een vergunning bij de provincie Noord-Holland aangevraagd worden. Tevens zal een m.e.r.-procedure moeten worden doorlopen. Voor de m.e.r.-procedure moeten de onttrekkingen van De Draai en de geplande onttrekkingen voor een KWO-systeem van bedrijventerrein De Vork (Heerhugowaard) in onderlinge samenhang beschouwd worden

### **Energie**

Voor het transportsysteem wordt gekozen voor een zogenaamd koudwaternet. In dit concept krijgt elke woning een eigen individuele warmtepomp en bestaat het distributienet in de wijk uit twee kunststof leidingen, een aanvoer- en een afvoerleiding. In de winter wordt het relatief warme water (uit de warme bron) aangevoerd, in de zomer wordt het systeem omgedraaid en wordt het relatief koude water aangevoerd. Het grote voordeel van dit systeem zit in een goedkoop distributienet dat slechts uit twee kunststof leidingen bestaat.

Voor elke fase van de aanleg van 'De Draai' is een berekening gemaakt van de energievraag (naar warmte en naar koude). Er blijkt dat er een onbalans zit tussen de energievraag in de zomer en in de winter. Dit komt omdat huishoudens over het gehele jaar genomen een grotere vraag naar warmte hebben dan naar koude. Er is een aanvullende warmtevraag van 85.000 GJ/jaar om de energiebalans in de ondergrond te herstellen. De provincie stelt namelijk als eis dat er in de ondergrond uitgegaan dient te worden van een thermisch neutrale balans.

### **Oppervlaktewater**

De ambitie van de gemeente is om meer te doen met het oppervlaktewater dan waterberging alleen en water ook een economische betekenis te geven. Het oppervlaktewatersysteem zal dan ook gebruikt worden voor de levering van het tekort aan warmte naar de ondergrond.

Het uitgangspunt is dat de benodigde warmte aan het oppervlaktewatersysteem onttrokken wordt en in het grondwater opgeslagen wordt om de thermische balans te herstellen. Dit is een innovatieve toepassing die nog niet eerder op deze schaal toegepast is. Bij dit concept wordt oppervlaktewater met een continu debiet onttrokken, middels warmtewisselaars enkele graden afgekoeld en vervolgens weer teruggepompt in het oppervlakte water systeem. De gewonnen warmte wordt vervolgens afgegeven aan de koelwaterstroom van de woningen en opgeslagen in het grondwater.

De warmteonttrekking aan het oppervlaktewatersysteem van De Draai, om het energiedeficit van het KWO-systeem op te heffen, vindt gedurende 3 zomermaanden plaats. In die maanden zijn er problemen met de hoge watertemperaturen van het oppervlaktewater. De onttrekking van warmte aan het oppervlaktewatersysteem zorgt voor een daling van circa 1,6°C van de gemiddelde watertemperatuur. Bij deze daling zijn er enkele positieve effecten voor de ecologie te verwachten:

- Zuurstoflevering vanuit de atmosfeer neemt met 10% toe
- Biologische netto zuurstofproductie neemt beperkt toe
- De extra circulatiestroom die ontstaat door de warmte onttrekking leidt tot een extra zuurstoflevering vanuit de atmosfeer van 30% ten opzichte van de situatie zonder warmteonttrekking
- Deze extra zuurstofbronnen zullen een positief effect hebben op de aquatische ecologie en kunnen ook in een maatregelenplan voor de Europese Kaderrichtlijn Water worden ingepast

### **Economische haalbaarheid**

De investeringskosten van een warmtepompsysteem met aquifers als bron en een koudwaternet zijn veel hoger dan bij een conventioneel systeem met HR-gasketels. Deze extra investeringen worden echter terugverdiend met de lagere jaarlijkse exploitatiekosten. Het verschil in de netto contante waarde, tussen het gasketelsysteem en het warmtepompsysteem, is na 30 jaar circa 20%, in het voordeel van het warmtepompsysteem.





# Inhoud

<b>Verantwoording en colofon</b> .....	<b>3</b>
<b>Samenvatting</b> .....	<b>5</b>
<b>1 Inleiding</b> .....	<b>11</b>
1.1 Inleiding.....	11
1.2 Plangebied.....	11
1.3 Het concept.....	13
1.4 Onderzoeksvragen.....	15
1.5 Werkzaamheden.....	15
<b>2 Uitgangspunten</b> .....	<b>17</b>
2.1 Beschikbare informatie.....	17
2.2 Energetische uitgangspunten.....	17
2.3 Uitgangspunten distributienet.....	18
2.3.1 Warmwaternet.....	18
2.3.2 Koudwaternet.....	19
2.4 Overige uitgangspunten.....	19
<b>3 Geohydrologische haalbaarheid</b> .....	<b>21</b>
3.1 Bodemopbouw.....	21
3.2 Grondwaterstroming.....	22
3.3 Grondwaterkwaliteit.....	23
3.4 Grondwateronttrekkingen.....	25
3.5 Conclusie.....	26
<b>4 Globaal ontwerp bronnen koude-warmteopslag</b> .....	<b>27</b>
4.1 Dimensionering bronnen.....	27
4.1.1 Debiet, boorgatdiameter en filterstelling.....	27
4.1.2 Onderlinge afstand warme en koude bron (doublet).....	29
4.1.3 Stijghoogteveranderingen.....	29
4.1.4 Ligging bronnen/doublets.....	29
<b>5 Oppervlaktewatersysteem</b> .....	<b>31</b>
5.1 De stadsgracht als zonnecollector.....	31
5.2 Temperatureffecten.....	32
5.2.1 Opwarmingsmodel/afkoelingsmodel.....	32
5.2.2 Warmtebalansmodel.....	34

<b>6</b>	<b>Waterkwaliteit en klimaatverandering.....</b>	<b>41</b>
6.1	Invloed op het zuurstofgehalte.....	41
6.2	Invloed op klimaatverandering.....	43
6.2.1	Tegengaan van de oorzaken van klimaatverandering.....	43
6.2.2	Tegengaan van de effecten van klimaatverandering.....	43
6.3	Kaderrichtlijn Water.....	44
6.4	Aandachtspunten.....	44
6.5	Conclusie.....	45
<b>7</b>	<b>Economische haalbaarheid.....</b>	<b>47</b>
7.1	Investeringskosten.....	47
7.2	Exploitatiekosten.....	48
7.3	Economische haalbaarheid.....	48
7.3.1	Eenvoudige terugverdiëntijd.....	48
7.3.2	Netto contante waarde.....	49
7.3.3	Interne rentevoet.....	50
7.4	Conclusie.....	51
<b>8</b>	<b>Conclusies en aanbevelingen.....</b>	<b>53</b>
8.1	Conclusies.....	53
8.2	Aanbevelingen.....	53
<b>9</b>	<b>Literatuur.....</b>	<b>54</b>

# 1 Inleiding

## 1.1 Inleiding

Het Leven met Water project 'Transities naar meer duurzame concepten van stedelijk waterbeheer' richt zich op het ontwikkelen van baanbrekende, vernieuwende concepten waarbij het stedelijke watersysteem en waterketen in onderlinge samenhang worden onderzocht. Een ander belangrijk onderdeel is het uitwerken van de kansen die er liggen op het grensvlak van waterbeheer en energievoorziening. Het benodigde transitieproces om daadwerkelijk de gewenste verandering in een maatschappelijke omgeving te realiseren is hierbij van doorslaggevend belang. Hierbij gaat het om het overbruggen van de kloof tussen techniek en maatschappij en de spanning tussen lange termijn en korte termijn doelen.

In het project Transities DSW is in een workshop met experts op 31 januari 2006 een aantal algemene uitgangspunten geformuleerd, die de projectgroep graag wil toetsen in een praktijksituatie. Deze uitgangspunten zijn:

- Het gebruik van lokale bronnen van energie en water is een goed leidend principe om de impact van steden op hun omgeving te verkleinen
- Duurzaam stedelijk waterbeheer is zowel een gezamenlijke opgave als een individuele opgave
- Door waterbeheer te combineren met andere functies wordt wederzijds voordeel geboekt en ontstaan interessante allianties. Voorbeelden zijn: Koude/Warmte Opslag (KWO), water voor koeling van gebouwen, energie uit afvalwater, de gracht als zonnecollector en andere mogelijkheden. Ook in integratie met ruimtelijke ordening en transport liggen kansen. Waterberging kan hierdoor meer economische waarde krijgen
- Op het niveau van de woning liggen veel kansen om technisch te innoveren en de invloed van de stad op de omgeving terug te brengen, zowel wat betreft water als energie. Implementatie van technologie op dit niveau kan bijdragen aan kortere stoffen kringlopen en vermindering van de kwetsbaarheid en afhankelijkheid van de stad ten opzichte van omliggende gebieden

## 1.2 Plangebied

De gemeente Heerhugowaard ligt in een polder op de grens van de drooggemaakte Hollandse meren en het oorspronkelijke getijdengebied van West Friesland. Het gevolg van dit samenspel is een ingewikkelde samenstelling van de bodem en het watersysteem. Afgelopen jaren is de Gemeente Heerhugowaard een "VINEX"-locatie geweest en heeft als gevolg van deze status 6000 woning laten bouwen. Deze grootschalige bouw van woningen voor de eigen en regionale woningbehoefte heeft geleid tot een woongebied met een beperkt aantal woningtypes en een eenzijdige woonomgeving. De gemeente is van mening dat de komende jaren uitsluitend gebouwd wordt voor de eigen woningbehoefte. Hierdoor hoeft de bouwproductie niet zo hoog te zijn.

Daarnaast speelt de verandering van samenstelling van huishoudens een belangrijke rol, deze zal zich waarschijnlijk ontwikkelen van 60% groot, naar 60% kleine huishoudens. Nieuwe stedelijke ontwikkelingen moeten op deze ontwikkeling worden aangepast.

De locatie "De Draai" is een ontwikkelingsgebied voor 2800 - 3000 woningen dat aan de oostkant van Heerhugowaard is gesitueerd, dicht bij het centrum . Op dit moment wordt het gebied voornamelijk agrarisch gebruikt. De uitzondering hierop is "Reigersdaal"; een voorziening voor 400 personen met een verstandelijke handicap. Deze voorziening ligt in het noorden van het gebied (zie figuur 1.1). Bij de ontwikkeling van het plangebied 'De Draai' zal een deel van de bewoners in de wijk gehuisvest worden. In de vorm van begeleid wonen zullen zij deel uit gaan maken van de nieuwe wijk.

De wijk zal ontwikkeld worden door middel van een langer dan gebruikelijk ontwikkeltraject, met gegroeide rijkdom en diversiteit, waarin innovatieve aspecten een belangrijke rol moeten gaan spelen. Gebruik wordt gemaakt van een adaptief, vraaggestuurd stedenbouwkundig plan dat ontwikkeld wordt met behulp van een computermodel van de ETH Zürich. Dit plan kan gedurende de ontwikkeling aangepast worden aan veranderende wensen van bewoners en de gemeente. Was bij de ontwikkeling van 'De Stad van de Zon', duurzame energie de voornaamste ambitie, bij 'De Draai' is dat met name een gesloten oppervlaktewatersysteem dat gebiedseigen water vasthoudt en een ontwikkelingsproces met gesloten grondbalans.

In het stedenbouwkundige plan zijn drie landschapsgebieden te onderscheiden, Tuindorpen, Waterrijken en Terpdorpen. De hoogteligging van deze typen is verschillend. Met behulp van de gesloten grondbalans (uitgraven waterlopen en ophogen van terpen tot 2 meter boven maaiveld) worden reliëfverschillen in het landschap gecreëerd. Beperkingen in het gebied zijn de tracé's van een nationale gasleiding met 50 meter bufferzone aan beide kanten en hoogspanningskabels. In een zone van 60 meter onder de hoogspanningsleidingen mag niet gebouwd worden, grond uit gegeven worden of hoog opgaand groen gerealiseerd worden. Op en direct naast de gasleidingen mag niet gebouwd worden, er mag weinig water gemaakt worden en de leidingen moeten altijd voor onderhoud bereikbaar zijn. Een innovatief aspect in de wijk is het aanleggen van uitgeefbaar water. Dit is water op privé terrein dat wordt aangelegd in plaats van tuinen. Het totale wateroppervlak in de wijk is vooralsnog circa 20,7 ha. In de twee stedelijke knooppunten in het gebied mag gebouwd worden tot acht verdiepingen.

De woonwijk, De Draai, zal uiteindelijk circa 150 hectare ruimte bieden voor nieuwe woningen en servicecentra en zal gefaseerd worden aangelegd. De start van de ontwikkeling van het terrein is gepland begin 2008. De duurzame energievoorziening dient gereed te zijn wanneer de eerste fase van 'De Draai' opgeleverd wordt.

Het plangebied is door de landschapsarchitecten Karres en Brands nader geanalyseerd. Het exacte gebied dat voor dit onderzoek relevant is, is weer gegeven in figuur 1.1. Het plangebied wordt begrensd door de Krusemanlaan (1), de Oostdijk (2), de Jan Glijnisweg (3), de Beukenlaan (4) en de Oosttang (5) en heeft een oppervlakte van 150 hectare.



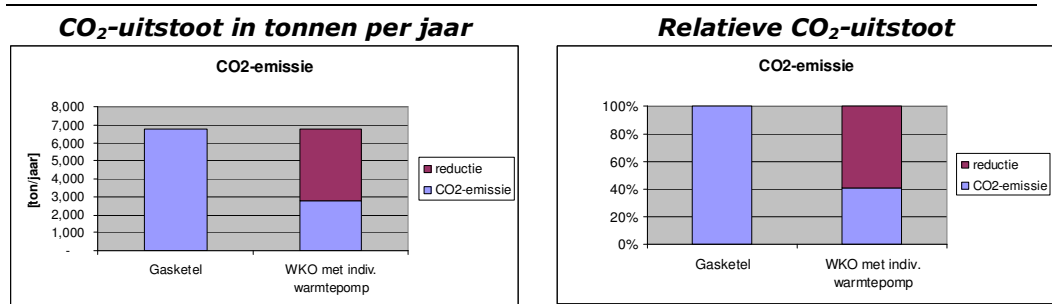
Figuur 1.1: Gebiedsgrenzen

### 1.3 Het concept

De ambitie van de gemeente Heerhugowaard is om het oppervlaktewater, naast de functie waterberging, ook een economische betekenis te geven. Mede daarom is onderzoek gedaan naar de mogelijkheden van energiebesparing. Het gaat hierbij specifiek om het concept Koude-/Warmteopslag (KWO), waarbij thermische energie in het grondwater opgeslagen wordt. Conventioneel worden gebouwen in Nederland in hun behoefte aan warmte voorzien door aardgasgestookte ketels. Voor de te ontwikkelen woonwijk, 'De Draai', aan de oostkant van Heerhugowaard, is een energievisie ontwikkeld, waarin de energievraag van de woonwijk wordt geleverd door de aanleg van een collectief systeem. Een onderdeel van dit milieubesparende en kosteneffectieve alternatief is een systeem dat gebruik maakt van warmtepompen met een aquifer als energiebron.

Een aquifer is een grondwaterlaag die gebruikt kan worden als seizoensopslag voor warmte en koude. In die aquifer worden puttenparen aangelegd (“doubletten”), die bestaan uit een koude bron van circa 8 °C en een warme bron van circa 16 °C. In de winter waardeert de warmtepomp het water uit de warme bron op van 16 °C tot circa 35 °C á 45 °C voor ruimteverwarming en circa 65 °C voor warm tapwater. In de zomer kan het water uit de koude bron gebruikt worden voor het koelen van de woningen.

Het warmtepompconcept biedt een duidelijk milieuvoordeel ten opzichte van het gasketelconcept. In het warmtepompconcept wordt warmte uit de ondergrond gebruikt om te verwarmen terwijl in het gasketelconcept alle warmte via verbranding van gas opgewekt moet worden. Als gevolg hiervan heeft het gasketelconcept dus ook een veel hogere CO<sub>2</sub>-emissie. Uit berekeningen blijkt dat het verschil circa 60% bedraagt. Dit is weergegeven in figuur 1.2



**Figuur 1.2 CO<sub>2</sub>-emissie**

Aanvullend wordt de functie van het oppervlaktewater als energiebron onderzocht binnen dit project. KWO wordt voor woonwijken nog niet zoveel toegepast aangezien een woning op jaarbasis meer warmte nodig heeft dan koude. Het toepassen van alleen KWO zou in dat geval leiden tot een thermische disbalans in het grondwater. Er wordt immers op jaarbasis meer warmte onttrokken om huizen te verwarmen dan koude om de huizen te koelen. Er zijn dus aanvullende warmteleveranciers nodig om de thermische balans in het grondwater te bereiken. In dit rapport wordt de haalbaarheid onderzocht om het tekort te leveren door warmte te onttrekken aan het oppervlaktewater en dit op te slaan in het grondwater. In de zomermaanden treden in stedelijke oppervlaktewateren diverse problemen op zoals de groei van (blauw)algen, zuurstofloosheid en troebelheid. Een beperkte koeling van het oppervlaktewater zou leiden tot vermindering van deze problemen terwijl tegelijkertijd in de stad zelf een bron is gevonden voor het opheffen van de disbalans in het grondwater. Dit is een innovatieve toepassing die nog niet eerder op deze schaal is toegepast. Dit zelfvoorzienend warmtesysteem maakt in principe een aardgasnet volledig overbodig. Dit impliceert dat de woningen niet zullen beschikken over een gasaansluiting. Koken op gas zal derhalve niet mogelijk zijn in ‘De Draai’. Doordat er nauwelijks gebruik gemaakt wordt van fossiele brandstoffen is er een zo groot mogelijke CO<sub>2</sub>-reductie voor de wijk mogelijk.

## 1.4 Onderzoeksvragen

Dit rapport is bedoeld antwoord te bieden op de volgende vragen:

- Kan het grondwatersysteem en vooral het oppervlaktewatersysteem benut worden voor de levering van warmte en koude aan de te ontwikkelen woonwijk 'De Draai'? Het gaat hierbij zowel om de technische als economische haalbaarheid
- Wat zijn de effecten op het grondwater en oppervlaktewatersysteem, wat betreft waterkwaliteit en ecologie?
- Welke energiebesparing en CO<sub>2</sub>-reductie wordt er met dit systeem gerealiseerd?

## 1.5 Werkzaamheden

Voor het ondergrondse systeem van bronnen, waarmee de koude-/warmteopslag wordt gerealiseerd, is in het kader van de Grondwaterwet (Gww) een vergunning van de provincie Noord-Holland vereist. Tevens zal een m.e.r.-procedure gestart dienen te worden. Om de start van uitgifte van energie vanaf de gebruikname van de woningen (eind 2008) mogelijk te maken, moet rekening gehouden worden met de proceduretijd van de m.e.r. en de vergunning in het kader van de Gww. Als bijlage bij de aanvraag van de vergunning zullen de effecten van een dergelijk ondergronds systeem in beeld moeten worden gebracht. Het gaat hierbij onder andere om de energetische balans van het grondwater. Ten behoeve van de vergunningsaanvraag dient onderzoek plaats te vinden. Het onderzoek is onderverdeeld in een drietal fasen:

Fase 1: Vooronderzoek technische en financiële haalbaarheid KWO

- Opstellen energievraag De Draai
- Geohydrologisch onderzoek ter bepaling van de geschiktheid van de ondergrond
- Bepalen warmte/koude levering systeem
- Onderzoek warmteonttrekking oppervlaktewatersysteem
- Bepalen van de globale kosten van het systeem
- Conclusie haalbaarheid concept

Fase 2: Globaal voorontwerp en kostenraming

- Opstellen globaal voorontwerp ondergrondse systeem
- Opstellen globaal voorontwerp bovengrondse systeem
- Opstellen globaal voorontwerp oppervlaktewateronttrekking

Fase 3: Effectenstudie ten behoeve van de vergunningaanvraag

- Overleg Provincie betreffende de gewenste effecten voor de vergunningverlening
- Bepalen geohydrologische, grondmechanische en thermisch effecten van het globale ontwerp voor het systeem van koude/warmteopslag
- Bepalen thermisch effecten van het globale ontwerp op het oppervlaktewatersysteem
- Aanvragen vergunning

In deze rapportage wordt een eerste globale verkenning gemaakt van de technische en financiële haalbaarheid van het watersysteem in 'De Draai' als energieleverancier.

### **Leeswijzer**

In hoofdstuk 2 wordt nader ingegaan op de (energetische) uitgangspunten en wordt een keuze voor het warmtepompconcept gemaakt. Vervolgens is in hoofdstuk 3 de geohydrologische haalbaarheid beschreven. Op grond van de geohydrologische en energetische uitgangspunten is in hoofdstuk 4 vervolgens een globaal ontwerp van de KWO-bronnen gemaakt en zijn de kosten geraamd. In hoofdstuk 5 is het concept van warmteonttrekking aan het oppervlaktewater beschreven en is een effectenstudie gemaakt van de gevolgen hiervan voor het watersysteem van De Draai. De effecten hiervan op de waterkwaliteit van het oppervlaktewatersysteem zijn bepaald in hoofdstuk 6. In hoofdstuk 7 is de economische haalbaarheid beschreven.



## 2 Uitgangspunten

Voor deze haalbaarheidsstudie is uitgegaan van een maximale energievraag uit bodemopslag. De energiepartner is deels nog vrij in de keuzes van de installaties en voorzieningen, daarom is de berekende vraag waarschijnlijk groter dan straks in bedrijfssituatie door bodemopslag geleverd zal worden.

### 2.1 Beschikbare informatie

De berekeningsuitgangspunten zijn vastgesteld op basis van de momenteel beschikbare informatie. Daarvoor is gebruik gemaakt van de onderstaande documenten:

- Gemeente Heerhugowaard, Karres en Brands Landschapsarchitecten, Structuurplan De Draai Heerhugowaard. Heerhugowaard, april 2002
- Karres en Brands landschapsarchitecten, De Draai Heerhugowaard, programma volgens ETH verkaveling 20-10-2006
- Nelen & Schuurmans, 2006, Optimaliseren Waterinrichting De Draai, Dossier: H0029

### 2.2 Energetische uitgangspunten

Voor het toetsen van haalbaarheid zijn de energetische uitgangspunten per aanlegfase van 'De Draai' bepaald. Hiervoor zijn de woningen van 'De Draai' verdeeld naar Novem-referentiewoningen, uitgevoerd met een HR-ketel respectievelijk een warmtepomp, en beide voldoende aan de EPC-eis van 0,8. Van deze woningen zijn de warmtevragen/vermogens bekend en als uitgangspunt genomen voor de berekeningen. Voor de koudevraag is aangenomen dat deze 20% is van de warmtevraag. Dit getal is een praktijkgegeven, omdat de koudevraag nog niet op je juiste manier in de rekenmodellen is verwerkt.

Uit het gevraagde vermogen en het verschil in ontwerptemperatuur over de warmtewisselaars is het maximale debiet berekend. De energetische uitgangspunten zijn te vinden in tabel 2.1.

Tabel 2.1 Energetische uitgangspunten De Draai

Huizen		Totaal	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 4	Fase 5 t/m
<b>Warmtevraag</b>							<b>10</b>
<b>Vermogen</b>	kWth	18.776	1.535	2.759	1.710	1.506	11.266
<b>Warmtevraag</b>	GJ/jaar	106.657	8.123	15.469	9.207	9.863	63.994
<b>ΔT grondwater</b>	oC	6	6	6	6	6	6
<b>max. grondwaterdebiet</b>	m3/uur	2.119	173	311	209	170	1.255
<b>totaal grondwaterverplaatsing</b>	m3/jaar	2.543.210	207.954	373.761	251.078	203.947	1.506.470
<b>Huizen</b>							<b>Fase 5 t/m</b>
<b>Koudevraag</b>							<b>10</b>
<b>Vermogen</b>	kWth	8.047	658	1.183	733	645	4.828
<b>Koudevraag</b>	GJ/jaar	21.331	1.625	3.094	1.841	1.973	12.799
<b>ΔT grondwater</b>	oC	6	6	6	6	6	6
<b>max. grondwaterdebiet</b>	m3/uur	1.155	94	170	105	93	693
<b>totaal grondwaterverplaatsing</b>	m3/jaar	1.386.060	113.336	203.701	126.235	111.152	831.636
<b>Ondergrond</b>							<b>Fase 5 t/m</b>
<b>Herstellen warmtebalans</b>							<b>10</b>
<b>Warmtevraag</b>	GJ/jaar	85.325	6.498	12.375	7.366	7.890	51.195
<b>ΔT oppervlaktewater</b>	oC	6	6	6	6	6	6
<b>max. oppervlaktewaterdebiet</b>	m3/uur	1.575	216	411	245	262	1.701
<b>totaal oppervlaktewater verplaatsing</b>	m3/jaar	3.402.123	259.110	493.438	293.693	314.608	2.041.274

Uit tabel 2.1 blijkt dat er een onbalans zit tussen de energievraag in de zomer en in de winter. Er is een aanvullende warmtevraag van 85.000 GJ/jaar om de balans te herstellen. Het uitgangspunt is dat deze warmte aan het oppervlaktewatersysteem onttrokken wordt.

## 2.3 Uitgangspunten distributienet

Omdat er gebruik wordt gemaakt van centrale puttendoubletten voor het WKO-systeem moet er een distributienet aangelegd worden om de warmte naar de woningen te transporteren. Hierbij zijn twee concepten mogelijk; een koudwaternet of een warmwaternet.

### 2.3.1 Warmwaternet

In het concept met het warmwaternet is de warmtepomp centraal opgesteld en wordt zowel het water voor ruimteverwarming, het warme tapwater als het water voor koeling via een distributienet langs de woningen worden geleid. Dit distributienet bestaat uit zes leidingen, namelijk een geïsoleerde HDPE (kunststof) aanvoer- en een retourleiding voor ruimteverwarming (45 °C), een geïsoleerde HDPE aanvoer- en een retourleiding voor warm tapwater (65 °C) en een aanvoer- en retourleiding van kunststof voor het koude water.

Eventueel kan de retourleiding van het koude water gecombineerd worden met die voor ruimteverwarming. Dan bestaat het net uit vijf leidingen.

Voordeel van dit systeem is dat één centrale warmtepompstelling goedkoper is dan alle individuele warmtepompen bij elkaar en dat gebruikgemaakt kan worden van stroom voor een grootverbruikersprijs. Dit voordeel wordt echter meer dan teniet gedaan door het duurdere distributienet dat bestaat uit geïsoleerde HDPE leidingen.

### **2.3.2 Koudwaternet**

In dit concept krijgt elke woning een eigen individuele warmtepomp en bestaat het distributienet slechts uit twee kunststofleidingen, een aanvoer- en een afvoerleiding. Het is ook mogelijk om een warmtepomp op servicecentrumniveau toe te passen. In de winter wordt het relatief warme water (uit de warme bron) aangevoerd, in de zomer wordt het systeem omgedraaid en wordt het relatief koude water aangevoerd. Omdat er in beide gevallen geen groot temperatuurverschil is tussen het water en de grond, kan er niet veel warmteverlies optreden en hoeven de leidingen dus niet geïsoleerd te worden. De individuele warmtepomp in de woning waardeert de temperatuur van het water voor ruimteverwarming en tapwater op tot 45 °C en 65 °C.

Het grote voordeel van dit systeem zit in het goedkopere distributienet dat slechts uit twee kunststof leidingen bestaat. In deze haalbaarheidsanalyse zal daarom van dit koudwaternet systeem uitgegaan worden.

### **2.4 Overige uitgangspunten**

Voor het ontwerp van het bronnensysteem worden de volgende uitgangspunten aangenomen:

- Het aantal bronnen wordt per fase gedimensioneerd (de effecten in de laatste fase zullen worden bepaald voor alle bronnen tezamen). Voorsnog wordt aangenomen dat per fase hetzelfde maximale grondwaterdebiet gevraagd wordt
- De bronnen worden gerealiseerd binnen de grenzen van de woonwijk De Draai
- De bronnen worden gedimensioneerd op de wintersituatie omdat dan de maximale warmtevraag plaatsvindt



### 3 Geohydrologische haalbaarheid

#### 3.1 Bodemopbouw

Op basis van de Grondwaterkaart van Nederland [1] en lokaal geplaatste boringen en sonderingen in het kader van een geohydrologisch onderzoek ter plaatse van industrieterrein “De Vork” (Kenmerk: R003-4402491AJA-gwi-V01) kan de bodemopbouw ter plaatse van de onderzoekslocatie als volgt geschematiseerd worden:

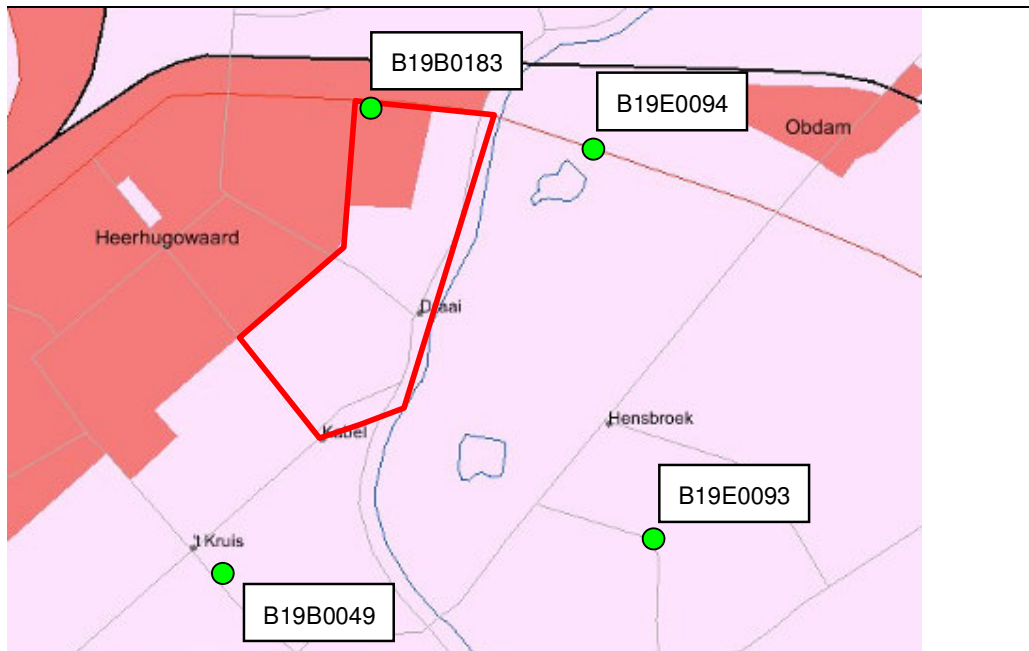
**Tabel 3.1: Geschematiseerde regionale en lokale bodemopbouw**

Regionaal				Lokaal	
Diepte (m –mv)	Samenstelling	Formatie	Geohydrologisch eenheid	Diepte (m –mv)	Samenstelling
0-15 à 20	Fijn zand, klei en veen	Westland	Deklaag	0-4 4-15 à 20	Matig fijn zand en zandige klei Matig fijn tot matig grof zand
15 à 20 - > 120	Matig fijn tot grof zand	Twente, Kreftenheye, Drente, Eem, Urk, Sterksel	Eerste en tweede watervoerend pakket	15 à 20 – 35 35 – 37 37 - >60	Matig grof tot zeer grof zand Zandige klei Matig fijn tot matig grof zand

De deklaag bestaat uit Holoceen kleiige, fijnzandige en veen afzettingen, behorende tot de Westland Formatie. Binnen de deklaag komen getijdegeulen voor welke plaatselijk zijn ingesneden tot in het eerste watervoerend pakket. Deze geulen zijn opgevuld met fijn tot matig grof zand.

In de omgeving van Heerhugowaard is de eerste scheidende laag vrijwel geheel afwezig. Hierdoor kan het eerste en tweede watervoerend pakket als één watervoerende laag worden beschouwd. Lokaal kan er echter een relatief dunne scheidende laag aanwezig zijn.

Bij TNO zijn boringen in de directe omgeving van het plangebied opgevraagd [3]. De locatie van deze boringen (Kenmerk: NITG-nummers B19B0049, B19B0183, B19E0093, B19E0094) is weergegeven in figuur 3.1. Uit analyse van deze boringen blijkt dat de eerste scheidende laag ontbreekt.



Figuur 3.1 Locatie boringen TNO

De gemiddelde maaiveldhoogte is circa NAP - 2,5 m.

### 3.2 Grondwaterstroming

De freatische grondwaterstand is op basis van literatuurgegevens onbekend. De grondwaterstromingsrichting in de deklaag is afhankelijk van de lokale ont- en afwateringsmiddelen. Met behulp van de Grondwaterkaart van Nederland [1] en REGIS [2] is de regionale stromingsrichting en snelheid van het eerste watervoerend pakket afgeleid.

De regionale grondwaterstroming van het eerste/tweede watervoerende pakket is zuidoostelijk gericht. Op basis van een stijghoogtegradiënt van 1/6500 m/m en een geschatte k-waarde van circa 20 m/dag [2] wordt met behulp van de wet van Darcy een gemiddelde stromingssnelheid berekend met:

$$v = \frac{k * i}{p} * 365$$

v =	stromsnelheid (m/jaar)
k =	doorlatendheid (20 m/dag)
i =	stijghoogteverhang (1 / 6.500 m/m)
p =	porositeit (0,35 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )

De horizontale stroomsnelheid van het grondwater in het eerste en tweede watervoerend pakket wordt berekend op circa 3 m/jaar.

### 3.3 Grondwaterkwaliteit

Voor energieopslag zijn de volgende aspecten van de grondwaterkwaliteit van belang:

- Redoxgrens (overgang tussen zuurstofhoudend en zuurstofloos grondwater)
- Zoet/brak grensvlak
- Opgeloste gassen in het grondwater

Er kan van uitgegaan worden dat het grondwater in het gebied zuurstofloos is. Het is voor de installatie wel van belang dat de cyclus van onttrekking en infiltratie gesloten is, zodat het grondwater niet in contact komt met de buitenlucht om neerslag van metalen te voorkomen.

Van het eerste, tweede en derde watervoerend pakket zijn de kwaliteitsgegevens van het grondwater opgevraagd bij TNO. In tabellen 3.2 -3.5 is een overzicht gegeven van de belangrijkste componenten en kenmerken van het grondwater [3]. De locaties zijn te vinden in figuur 3.1.

**Tabel 3.2 Kwaliteit grondwater ter plaatse van peilbuis B19B0049**

NITG-nr	X-coord	Y-coord	Analyse datum			Cl- (mg/l)	pH (-)
B19B0049	118550	518150	6/10/1983	3003	3103	975	7
B19B0049	118550	518150	6/10/1983	6303	6403	5850	7
B19B0049	118550	518150	14-06-1957	3003	3103	37.5	7.53
B19B0049	118550	518150	14-06-1957	6303	6403	5330	7.17
B19B0049	118550	518150	14-06-1957	7853	7953	7443	7.51

**Tabel 3.3 Kwaliteit grondwater ter plaatse van peilbuis B19B0183**

NITG-nr	X-coord	Y-coord	Analyse datum			Cl- (mg/l)	pH (-)
B19B0183	119515	521110	21-09-1984	2744	2844	64	7.4
B19B0183	119515	521110	21-09-1984	4148	4248	69	7.6
B19B0183	119515	521110	21-09-1984	6252	6352	5464	7

**Tabel 3.4 Kwaliteit grondwater ter plaatse van peilbuis B19E0094**

NITG-nr	X-coord	Y-coord	Analyse datum			Cl- (mg/l)	pH (-)
B19E0095	121310	518365	29-03-1979	1501	1601	138	7.2
B19E0093	121310	518365	15-02-1979	2800	2900	367	7.3
B19E0093	121310	518365	15-02-1979	6700	6800	1419	7.4
B19E0093	121310	518365	27-02-1978	2800	2900	500	6.96
B19E0093	121310	518365	27-02-1978	6700	6800	1700	6.97

**Tabel 3.5 Kwaliteit grondwater ter plaatse van peilbuis B19E0094**

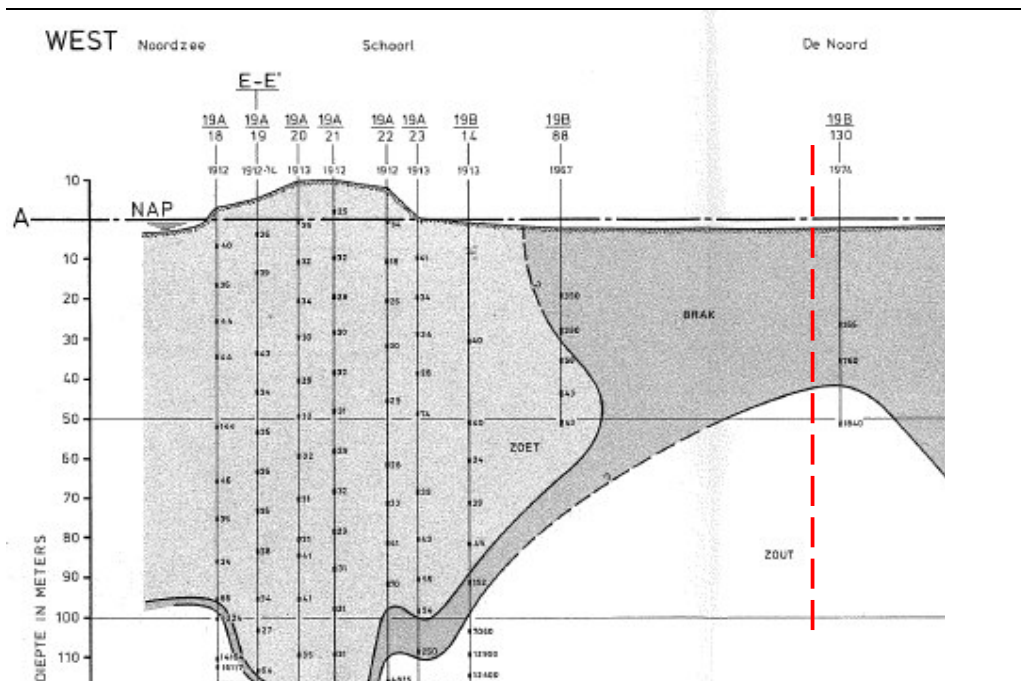
NITG-nr	X-coord	Y-coord	Analyse datum			Cl- (mg/l)	pH (-)
B19E0094	120900	520820	26-02-1979	2400	2500	42	7.52
B19E0094	120900	520820	26-02-1979	7000	7100	394	7.46
B19E0094	120900	520820	26-02-1979	11750	11850	12971	7.35

Geconcludeerd wordt dat het grondwaterprofiel ter plaatse van het plangebied vanaf het eerste watervoerende pakket brak is. Dit blijkt eveneens uit het hydro-geochemisch profiel [1], dat is weergegeven in figuur 3.2. In deze figuur is de globale locatie van het plangebied in het dwarsprofiel weergegeven met een gestippelde lijn.

Er zal dus géén menging van zoet en brak grondwater plaatsvinden indien er onttrekking en infiltratie plaatsvindt vanaf 20 m onder maaiveld.

Over opgeloste gassen in het grondwater (methaan en stikstof) zijn geen gegevens bekend. Om problemen te voorkomen is het van belang dat het grondwatercircuit onder voldoende druk gehouden wordt, zodat eventuele ontgassing wordt voorkomen.





Figuur 3.2 Chlorideprofiel ter plaatse van plangebied

### 3.4 Grondwateronttrekkingen

In tabel 3.6 zijn de locaties omschreven waar al grondwateronttrekking plaatsvindt. Het is van belang dat de onttrekkingen ten behoeve van het KWO systeem van 'De Draai' geen negatieve invloed hebben op de reeds bestaande onttrekkingen.

Tabel 3.6 Grondwateronttrekkingen in nabijheid van 'De Draai'

Adres	Plaats	x-coord	y-coord	Omschrijving	Filter diepte [m-mv]	Filter Onder [m-mv]	Filter Diameter [mm]	Aantal	Max Capaciteit [m <sup>3</sup> /uur]
Beukenlaan 1c	Heerhugowaard	117.760	520.960	KWO	-120	-160	250	2	49
Hectorlaan 7	Heerhugowaard	118.700	519.860	KWO	-120	-160	250	2	45
Dorpsweg 53-55	Hensbroek	121.000	519.000	Sanering					

De mogelijke gevolgen van de KWO installatie van 'De Draai' op de in tabel 3.6 opgenomen onttrekkingen worden nader bekeken bij de toekomstige vergunningaanvraag. Verwacht wordt echter dat de KWO installatie van 'De Draai' geen invloed zal hebben op de eerder genoemde grondwateronttrekkingen.

De gemeente Heerhugowaard heeft voor het bedrijventerrein De Vork een KWO-systeem gepland. De interactie van het geplande KWO systeem in De Draai en dat van De Vork zal in een later stadium uitgezocht moeten worden.

### 3.5 Conclusie

De volgende conclusies worden ontleend aan hoofdstuk 3: Geohydrologische haalbaarheid:

- Uit analyse van boringen blijkt dat de scheidende laag tussen de watervoerende pakketten ontbreekt
- Er zal géén menging van zoet en brak grondwater plaatsvinden indien er onttrekking en infiltratie plaatsvindt vanaf 20 m onder maaiveld
- Er vinden op drie locaties in de omgeving van het plangebied grondwateronttrekkingen plaats. Grondwateronttrekkingen voor KWO in 'De Draai' zullen geen negatieve gevolgen hebben op deze onttrekkingen
- Voor het ondergrondse systeem van bronnen, waarmee de koude -warmteopslag wordt gerealiseerd, kan in het kader van de Grondwaterwet (Gww) een vergunning van de provincie Noord-Holland aangevraagd worden. Gelet op de omvang van de onttrekking ( $\geq 3 * 10^6$  m<sup>3</sup>/jaar) is deze m.e.r.-plichtig
- Voor de m.e.r.-procedure moeten de onttrekkingen van De Draai en de geplande onttrekkingen voor een KWO-systeem van bedrijventerrein De Vork in onderlinge samenhang beschouwd worden

Geconcludeerd wordt dat de bodemopbouw ter plaatse van 'De Draai' in principe geschikt is voor KWO.

## 4 Globaal ontwerp bronnen koude-warmteopslag

### 4.1 Dimensionering bronnen

#### 4.1.1 Debiet, boorgatdiameter en filterstelling

In paragraaf 2.2 zijn op basis van het gevraagde vermogen en ontwerptemperaturen de benodigde debieten bepaald. Aangezien het ondergrondse systeem wordt gedimensioneerd op de wintersituatie (maximale warmtevraag voor de huizen) bedraagt het debiet in totaal voor 'De Draai' 2119 m<sup>3</sup>/uur. De verdeling per fase is te vinden in tabel 2.1.

De maximaal toelaatbare snelheid op de boorgatwand wordt onder andere bepaald door het maximale debiet, de doorlatendheid van de bodem, de verstoppingpotentie van het grondwater en de dikte van het watervoerende pakket. Voor de ontwerpsnelheid op de boorgatwand (voor infiltratiebronnen) geldt de volgende norm (volgens de NVOE-richtlijnen Ondergrondse energieopslag):

$$v_{ontw} = 1000 \frac{k}{(150)^{0.6}} \sqrt{\frac{v_v}{2MFI_{mea} u_{eq}}}$$

$v_{ont}$ =	ontwerpsnelheid op de boorwand (m/uur)
$k$ =	doorlatendheid van het watervoerende pakket (m/dag)
$v_v$ =	specifieke verstoppingssnelheid (m/jaar)
$MFI_{mea}$ =	gemeten MFI (s/l <sup>2</sup> )
$u_{eq}$ =	aantal equivalente vollasturen (uur/jaar)

Uitgaande van een  $k$ -waarde van circa 20 m/dag, een specifieke verstoppingssnelheid van 0,1 m/jaar, een MFI van 2 en het aantal vollasturen van 1200, bedraagt de ontwerpsnelheid circa 4,5 m/uur.

Voor een onttrekkingsbron is de volgende norm vastgesteld:

$$v_b = k / 12$$

Waarin de ontwerpsnelheid  $v_b$  op de boorgatwand is (in m/uur) en de  $k$  de gemiddelde doorlatendheid (m/dag). Hieruit volgt een maximale ontwerpsnelheid van 1,7 m/uur. In de praktijk wordt bij het ontwerp een maximale ontwerpsnelheid aangehouden van 1,0 tot 1,5 m/uur.

Om verstoppingen op de boorgatwand (grensvlak tussen boring en filtergrind) te voorkomen, dient de snelheid op de boorgatwand zo laag mogelijk te zijn. De snelheid op de boorgatwand wordt gedefinieerd als:

$$v = \frac{Q}{2\pi rh}$$

- v = snelheid op de boorgatwand (in m/uur)  
 Q = debiet (in m<sup>3</sup>/uur)  
 r = straal boorgatwand (in m)  
 h = filterlengte (in m)

Uitgaande van een maximale snelheid op de boorgatwand van 1,5 m/uur kan afhankelijk van de diameter van de bron de volgende benodigde filterlengtes en het aantal bronnen (op basis van een effectieve filterlengte van 35 m bij een pakketdikte van 40 m) worden afgeleid. Te benodigde debieten verschillen per fase en zijn te vinden in tabel 2.1. In Tabel 4.1 is het benodigde aantal doublets per fase bij verschillende boorgatdiameters (d) weergegeven.

**Tabel 4.1: Aantal doublets per fase bij verschillende boorgatdiameters**

d	Totaal	aantal doublets
0.4		32
0.6		21
0.8		16
1		13

Fase 1		
d	Benodigde filterlengte	aantal doublets
0.4	92	3
0.6	61	2
0.8	46	1
1	37	1

Fase 2		
d	Benodigde filterlengte	aantal doublets
0.4	165	5
0.6	110	3
0.8	82	2
1	66	2

Fase 3		
d	Benodigde filterlengte	aantal doublets
0.4	111	3
0.6	74	2
0.8	55	2
1	44	1

Fase 4		
d	Benodigde filterlengte	aantal doublets
0.4	90	3
0.6	60	2
0.8	45	1
1	36	1

Fase 5 - 10		
d	Benodigde filterlengte	aantal doublets
0.4	133	4
0.6	88	3
0.8	66	2
1	53	2

Uitgaande van een minimaal aantal doublets zijn in totaal 13 doublets met een boorgatdiameter van 1,0 m benodigd. De filters worden geplaatst op een diepte van NAP – 20,0 m tot NAP – 60 m. In de bronnen wordt een filter geplaatst van 315 mm/doorsnede. In totaal zijn 26 bronnen (13 doublets) en 1 spuibrong benodigd.

#### 4.1.2 Onderlinge afstand warme en koude bron (doublet)

De onderlinge afstand tussen de warme en koude bronnen kan bepaald worden op basis van de voorwaarde dat het geïnjecteerde warme water in de zomer de koude bron niet mag bereiken en omgekeerd. Dit wordt bepaald door het debiet, het aantal vollasturen, de heterogeniteit van het watervoerend pakket en de temperatuurniveaus aan de warme en koude zijde. Met behulp van de onderstaande vergelijkingen kan de minimale onderlinge afstand worden bepaald. Het aantal vollasturen in de winterperiode bedraagt in totaal  $2.543.210 \text{ m}^3 / (2119 \text{ m}^3/\text{uur}) = 1200$  uur.

De afstand van de putten  $L$  (m) is te bepalen volgens de formule:

$$L = 3R_{th} = 2,25R_w$$

$R_{th}$  = thermische straal van de opslag (m)

$R_w$  = hydraulische straal van de opslag (m)

Hierbij is de hydraulische straal  $R_w$  te bepalen met:

$$Q \cdot \text{vollasturen} = \varepsilon \cdot \pi \cdot R_w^2 \cdot D$$

$Q$  = debiet ( $\text{m}^3/\text{uur}$ )

$\varepsilon$  = porositeit (-)

$D$  = dikte watervoerend pakket (m)

Uit een indicatieve berekening volgt dat de onderlinge afstand van de warme en koude bronnen circa 225 m moet bedragen.

#### 4.1.3 Stijghoogteveranderingen

p.m.

#### 4.1.4 Ligging bronnen/doublets

Rekeninghoudend met de indeling van de woonwijk, de (minimale) onderlinge afstanden en de uitgangspunten in hoofdstuk 2 zijn de brondoublets over het projectgebied geplaatst. Voorgesteld wordt de bronnen nabij het oppervlaktewater te plaatsen in verband met de optie van het laden van extra warmte via het oppervlaktewater in de zomer.

Er wordt voor gekozen om de warme bronnen, respectievelijk de koude bronnen, op een onderlinge afstand van circa 150 m te plaatsen. De oriëntatie van deze koude- en warmte straten is in zuidoostelijke richting omdat dat de stromingsrichting van het grondwater is.

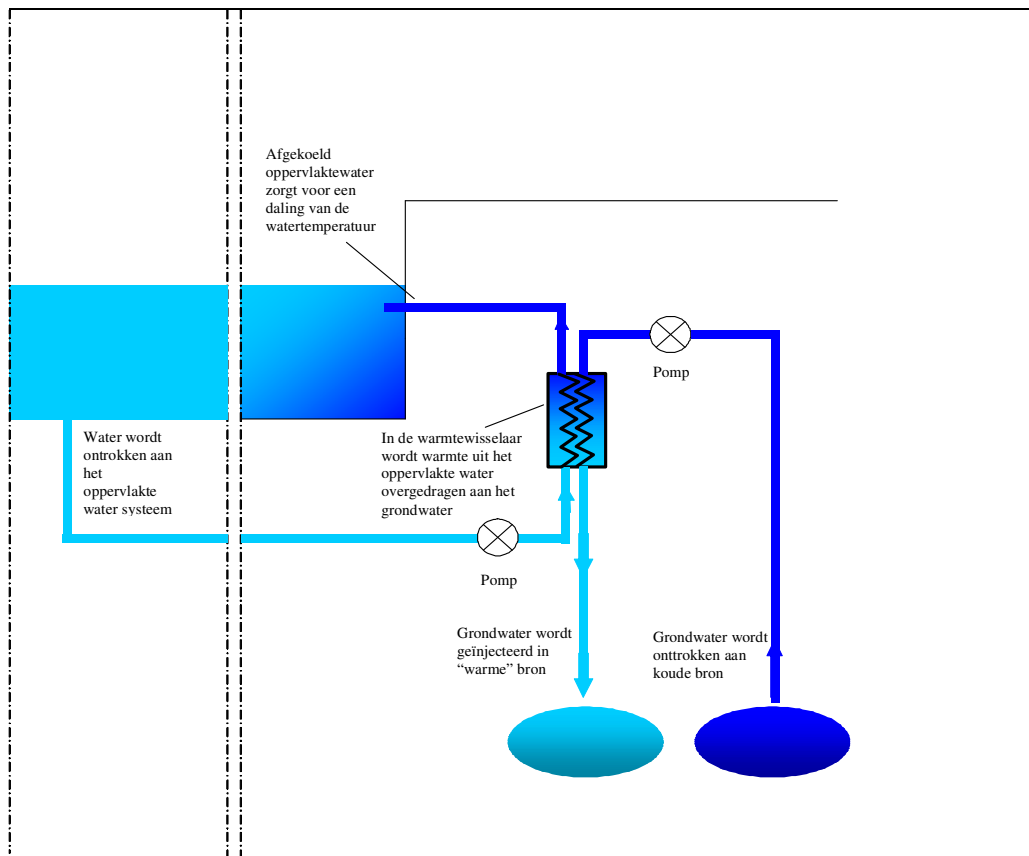
Op deze manier zal een aaneengesloten warme bel en een aaneengesloten koude bel ontstaan. De warme- en de koude bronnen worden zoals berekend op een minimale afstand van 225 m geplaatst, zodat er geen vermenging van het koude en warme water zal plaatsvinden.

## 5 Oppervlaktewatersysteem

Toepassing van KWO leidt er in het geval van woningbouw toe, dat er op jaarbasis meer warmte wordt onttrokken dan er wordt aangevuld. Uit tabel 2.1 blijkt dat er 85.000 GJ meer aan warmte wordt onttrokken op jaarbasis. Er zijn dus aanvullende warmtebronnen nodig voor de haalbaarheid van het KWO-systeem. In dit hoofdstuk is onderzocht of het oppervlaktewatersysteem als warmtebron kan dienen om de benodigde warmte aan het grondwater te leveren.

### 5.1 De stadsgracht als zonnecollector

Bij dit concept wordt oppervlaktewater met een continu debiet onttrokken, middels warmtewisselaars enkele graden afgekoeld en vervolgens weer teruggepompt in het oppervlakte water systeem. De gewonnen warmte wordt vervolgens afgegeven aan de koelwaterstroom van de woningen en opgeslagen in het grondwater. In de wintermaanden kan deze warmte vervolgens gebruikt worden.



Figuur 5.1 Illustratie van het concept 'de stadsgracht als zonnecollector' [12]

Dit concept heeft enkele grote voordelen:

- Warmte uit het oppervlaktewatersysteem is een duurzame energiebron, er zijn dus geen fossiele brandstoffen nodig voor de verwarming en koeling van de woningen. Alleen voor het aandrijven van de pompen is elektriciteit nodig
- Het onttrekken van warmte aan het oppervlaktewater systeem leidt tot een lagere temperatuur van het oppervlaktewater in de zomer. Dit leidt tot een hoger zuurstof gehalte en minder algengroei. Hierdoor wordt de kwaliteit verbeterd wat van groot belang is om de ecologische doelstellingen van de Europese Kaderrichtlijn water te halen
- Door het onttrekken en terugpompen van water ontstaat circulatie, dit verbetert de waterkwaliteit. Bovendien worden hierdoor aparte circulatiepompen overbodig

## 5.2 Temperatureffecten

Uit hoofdstuk 2 blijkt dat het tekort aan warmte in de watervoerende pakketten onder De Draai 85.000 GJ bedraagt. Deze warmte zal dus uit het oppervlaktewater gewonnen moeten worden. Er wordt gekozen om warmte te winnen in de maanden juni, juli en augustus omdat dan de grootste problemen optreden met de waterkwaliteit. Het effect van deze warmte onttrekking aan het oppervlaktewater wordt op twee manieren berekend. Er wordt gebruik gemaakt van een opwarmings/afkoelingsmodel en van een warmtebalans model. Uitkomsten van beide methodes kunnen vervolgens gebruikt worden om een vergelijking te maken.

### 5.2.1 Opwarmingsmodel/afkoelingsmodel

Een opwarmingsmodel of afkoelingsmodel beschrijft op eenvoudige wijze hoe een verandering van watertemperatuur door afkoeling of opwarming weer verdwijnt. De drijvende kracht voor opwarming of afkoeling is het verschil tussen de water temperatuur en de theoretische evenwichtstemperatuur. Er wordt aangenomen dat de warmteflux evenredig is met aan het temperatuur verschil.

$$W = -Z \cdot \theta_{ts}$$

$W =$	Warmteopname (J/(m <sup>2</sup> *s))
$Z =$	Zelfkoelingsgetal (W/m <sup>2</sup> *°C)
$\theta_{ts} =$	Temperatuursurplus (°C)

Als het watersysteem van De Draai beschouwd wordt als een volledig gemengd koelmeer kan bovenstaande vergelijking worden uitgewerkt tot [4]:

$$\frac{F}{P} = \frac{k_r}{Z \cdot (\theta_{ts})_0}$$

$F =$	Oppervlakte (m <sup>2</sup> )
$P =$	Warmteonttrekking (W)
$k_r =$	Efficiëntiefactor(-)



Het totale wateroppervlak van “De Draai” is 20,7 ha. De warmteonttrekking is 85.000 GJ in drie maanden. Dit is gelijk aan 10,9 MW. Het zelfkoelingsgetal moet empirisch worden vastgesteld en is afhankelijk van de watertemperatuur en de windsnelheid. Voor Nederlandse zomercondities varieert het zelfkoelingsgetal tussen de 30 en 45 (W/m<sup>2</sup>\*m °C). Er wordt aangenomen dat deze getallen ook geldig zijn in de situatie waar het water niet afkoelt maar juist opwarmt. Voor de zekerheid wordt Z=30 W/m<sup>2</sup>\*°C aangenomen, waarmee extra veiligheid wordt ingebouwd.

Met bovenstaande waarden kan het temperatuurverschil ten opzichte van de natuurlijke omgevingstemperatuur worden berekend:

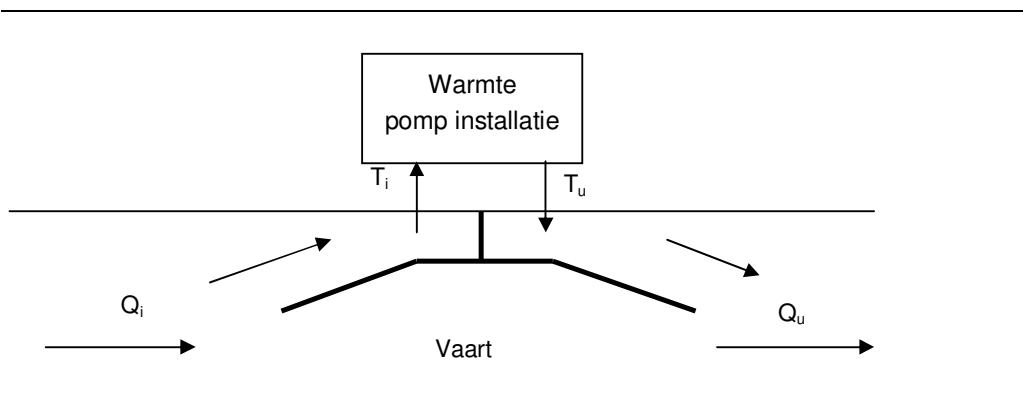
$$\theta_{ts} = -1,8 \text{ °C}$$

### Conclusie opwarmingsmodel

Ten opzichte van de natuurlijke omgevingstemperatuur neemt de watertemperatuur dus af met 1,8 graad in de drie zomermaanden. Dit is een zeer beperkte temperatuurdaling. Bovendien zal deze beperkte daling een positieve invloed hebben op het zuurstofgehalte.

### Lokale effecten

Om het benodigde vermogen van 10,9 MW te leveren wordt aan een constant debiet een constante hoeveelheid warmte onttrokken. In het ontwerp van het watersysteem van “De Draai” [5] zijn twee circulatiepompen van 0,1 m<sup>3</sup>/s opgenomen. De totale capaciteit bedraagt dus 0,2 m<sup>3</sup>/s. Toepassing van warmteonttrekking aan het oppervlaktewatersysteem maakt deze circulatiepompen overbodig aangezien de warmteonttrekkingsinstallatie ook in deze circulatie kan voorzien.



**Figuur 5.2** Illustratie van de warmteonttrekking uit het oppervlaktewater

Indien de circulatiecapaciteit verdubbeld wordt naar 0,4 m<sup>3</sup>/s om verdere verbetering van de waterkwaliteit te bereiken, dan is de vraag wat de temperatuur wordt van het water dat teruggelooft wordt. Dit kan berekend worden met de volgende formule:

$$T_i - T_r = \frac{P}{Q \cdot \rho \cdot s}$$

$T_i$ =	Temperatuur ingelaten water
$T_r$ =	Temperatuur teruggelooft water
$P$ =	Benodigd vermogen = $10,3 \cdot 10^6$ W
$\rho$ =	Dichtheid van water = 1000 kg/m <sup>3</sup>
$s$ =	Warmtecapaciteit van water = 4186 J/(kg*°C)

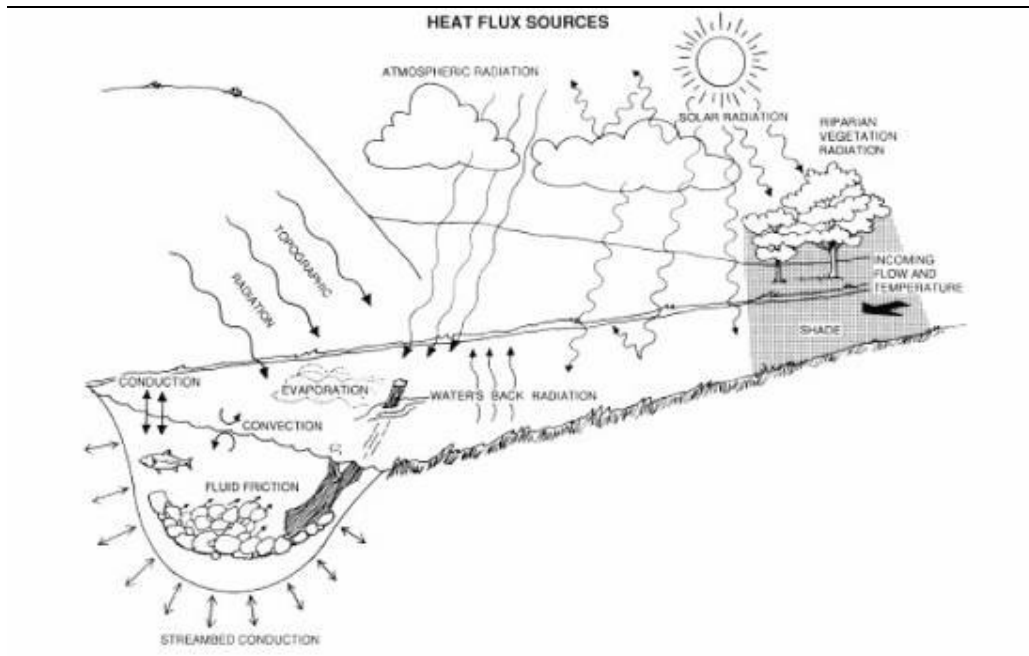
Uitwerken levert:

$$T_i - T_r = 6,5 \text{ °C}$$

Het water dat wordt onttrokken wordt dus 6,5 graden afgekoeld en teruggelooft. Door menging en opwarming wordt de **globale** watertemperatuur hierdoor 1,8 graad koeler dan in de situatie zonder onttrekking.

### 5.2.2 Warmtebalansmodel

De voorgaande benadering met het opwarmingsmodel / afkoelingsmodel kent enige onzekerheden. Het is niet bekend of het afkoelingsgetal evenredig geldig is in een situatie waar het water juist opwarmt door de omgeving nadat het is afgekoeld. Om deze aanname te controleren wordt een warmtebalans opgesteld. Hierbij worden alle belangrijke warmtestromen van en naar het oppervlaktewater gekwantificeerd waarmee uiteindelijk de watertemperatuur berekend kan worden. De warmtebalans van oppervlaktewater kan worden geschematiseerd door de afbeelding in figuur 4.3.



**Figuur 5.3** Warmtestromen naar het oppervlaktewater. Theurer et al. 1984

De volgende warmtefluxen worden onderscheiden.

- Zonnestraling
- Atmosferische straling
- Warmte uitstraling
- Verdamping
- Geleiding naar atmosfeer
- Warmte onttrekking of warmtelozing
- Overigen

Deze stromen samen bepalen de temperatuursverandering van het water. Als er geen wijzigingen optreden in deze stromen zal de watertemperatuur naderen tot de theoretische evenwichtstemperatuur. Door de grote mate van variatie van de fluxen door de dag heen wordt deze temperatuur nooit bereikt. Wat echter voor de doelstelling interessant is, is de verandering in water temperatuur in een situatie mét warmteonttrekking uit het oppervlaktewater systeem ten opzichte van de situatie zónder warmteonttrekking.

### Zonnestraling

Zonnestraling wordt door het KNMI gemeten op diverse stations in Nederland. Voor Heerhugowaard wordt het gemiddelde genomen van de meetstations De Kooy en Schiphol. Dit levert de waarden uit tabel 5.1 op.

**Tabel 5.1 Instraling van de zon voor De Draai, Heerhugowaard**

jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	oct	nov	dec	
26	57	101	165	218	226	215	185	120	68	32	19	W/m <sup>2</sup>

Deze straling zal niet volledig door het watersysteem worden opgenomen. Gemiddeld over de dag zal ongeveer 90% van de zoninstraling door het water worden opgenomen, aangezien de reflectie of albedo gemiddeld 10% is.

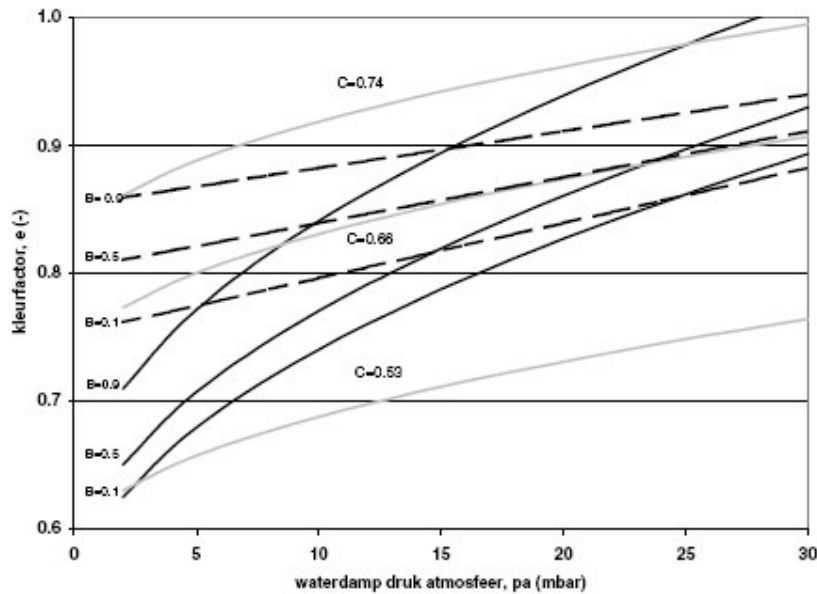
### Atmosferische straling

De zonnestraling die de atmosfeer binnenkomt treft ook het wolkendek en stofdeeltjes. Deze lichamen nemen warmte op en stralen dit ook weer uit. De straling wordt omgezet in langgolvlige straling. Dit proces kan beschreven worden volgens de wet van Stefan en Boltzmann. Volgens deze wet straalt ieder voorwerp met een temperatuur die ligt boven het absolute nulpunt warmte uit. De atmosferische warmtestraling wordt als volgt berekend:

$$H_a = \beta \cdot \sigma_{SB} \cdot (T_a + 273)^4$$

- $\beta$  = Thermodynamische 'kleur' van de atmosfeer
- $\sigma_{SB}$  = Constante van Stefan en Boltzman ( $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}$ )
- $T_a$  = Atmosferische temperatuur

Kleurfactor  $\beta$  wordt ook wel aangeduid als emissiviteit  $e$  en is afhankelijk van de bewolgingsgraad en dampdruk. Door verschillende onderzoekers [6, 7, 8] zijn hiervoor verbanden afgeleid die door [9] met elkaar zijn vergeleken. Zie figuur 5.4.



**Figuur 5.4** Kleurfactor als functie van dampdruk en bewolkingsgraad (B) volgens de formuleringen van Edinger (grijze doorgetrokken lijn), Wiggers (gestippelde lijn) en Brunt (zwarte doorgetrokken lijn). Voor de Edinger formulering is in plaats van B de Brunt coëfficiënt (C) gegeven. [9]

De absolute waterdampdruk hangt af van de luchtvochtigheid en de luchttemperatuur en wordt berekend met de volgende formule.

$$E = 6,112 \cdot 10^{\left(\frac{7,5T}{237,7+T}\right)} \cdot \frac{H}{100}$$

T = Luchttemperatuur in °C

H = Luchtvochtigheid in fractie

Vervolgens kan de gemiddelde maandelijkse waterdampdruk in De Draai berekend worden en de kleurfactor  $\beta$  geschat worden uit figuur 4.4. Hierbij wordt de bewolkingsgraad geschat op 0,5 en wordt een gemiddelde Brunt coëfficiënt van 0,66 aangenomen. Op basis van deze gegevens, is het mogelijk de atmosferische straling naar het oppervlaktewater systeem van De Draai te berekenen.

**Tabel 5.2 Gemiddelde maandelijkse waterdampdruk,  $\beta$  en atmosferische straling in De Draai**

	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sept	oct	nov	dec	
$p_a$	6,8	6,7	7,6	8,5	11,1	13,1	15,6	15,5	13,6	11,1	8,7	7,5	hPa
$\beta$	0,76	0,77	0,79	0,80	0,81	0,83	0,87	0,87	0,83	0,81	0,80	0,79	-
$H_b$	242,9	245,9	261,2	273,9	294,1	312,3	337,7	338,4	311,4	289,0	269,9	257,5	W/m <sup>2</sup>

### Warmte uitstraling van het meer

Het oppervlaktewater systeem straalt warmte uit afhankelijk van de temperatuur. Ook dit proces verloopt volgens de wet van Stefan en Boltzmann. De kleurfactor  $\beta$  is hierbij 0,97 aangezien water bijna een perfect zwart lichaam is.

$$H_{wr} = 0,97 \cdot \sigma_{SB} \cdot (T_w + 273)^4$$

### Verdamping en condensatie

Bij verdamping wordt warmte aan het water onttrokken. Bij condensatie treedt het omgekeerde proces op. Verdamping hangt af van de watertemperatuur, luchttemperatuur de windsnelheid en het vochtgehalte in de lucht. De volgende formule kan gebruikt worden om de verdampingsenergie te berekenen [4].

$$H_e = (3,86 + 2,65 \cdot v_{wind}) \cdot (p_a - p_s)$$

$v_{wind}$  = Gemiddelde windsnelheid (m/s)  
 $p_a$  = Atmosferische dampdruk (hPa)  
 $p_s$  = Verzadiging dampdruk (hPa)

Er zijn vele empirische verbanden afgeleid voor de verzadigingsdampdruk (Thackston, 1974; Sweers, 1976; Yotsukura, 1972 en Wiggers, 1998). Boderie en Dardengo (2003) hebben deze benaderingen echter met elkaar vergeleken en zijn tot de conclusie gekomen dat de verschillen minimaal zijn. De volgende formule kan dan gebruikt worden om de verzadiging dampdruk te berekenen [8].

$$p_s = 23,4 \cdot 1,062^{(T_a - 20)}$$

### Warmtegeleiding

In het geval van een temperatuurverschil tussen water en de luchttemperatuur zal er geleiding van warmte optreden. Daarnaast speelt de windsnelheid een rol. De volgende formule kan gebruikt worden om geleiding te berekenen [4].

$$H_c = (2,02 + 1,46 \cdot v_{wind}) \cdot (T_a - T_w)$$

### **Warmteonttrekking**

In de situatie van het watersysteem van De Draai zal warmte onttrokken worden door water uit het watersysteem te pompen, warmte te onttrekken en het afgekoelde water weer terug te lozen. De warmteonttrekking kan terug worden gerekend naar het totale oppervlak en levert uiteindelijk vermogen per oppervlak op ( $W/m^2$ ). Het benodigde koelvermogen werd al eerder berekend op 10,3 MW. Verdeeld over een totaal oppervlak van 20,7 ha is dat:  $53 W/m^2$ .

### **Overige processen**

Andere processen die invloed hebben op de warmtebalans zijn warmtegeleiding naar de bodem, turbulentie, inval van neerslag met een andere temperatuur, biologische en chemische afbraakprocessen. Deze processen hebben echter een zeer beperkte invloed [4].

### **De invloed van warmte onttrekking op de watertemperatuur**

Het doel van het opstellen van de warmtebalans is het bepalen van de invloed van de benodigde warmteonttrekking op de evenwichtstemperatuur en daarmee de resultaten uit het opwarmings/afkoelingsmodel te controleren. Uit een orde grootte verkenning blijkt het volgende:

In de maanden juni, juli en augustus, wanneer er warmte onttrokken wordt, is de som van atmosferische instraling en zonnestraling circa  $500 W/m^2$ . De warmte onttrekking uit het meer bedraagt slechts  $53 W/m^2$ . De omvang van de warmte onttrekking is dus relatief beperkt ten opzichte van de totale warmtebalans van het oppervlakte water. Naar verwachting is daardoor het effect op de temperatuur beperkt en lijkt de eerder gevonden temperatuurverlaging van  $1,7^\circ C$  aannemelijk. Door middel van het opstellen van de volledige warmtebalans voor de zomermaanden kan deze veronderstelling getoetst worden.

### **Warmtebalans**

De hierboven genoemde termen van de verschillende processen kunnen worden opgeteld om een warmtebalans te verkrijgen. Dit wordt gedaan voor de maanden juni, juli en augustus. Hierbij kan onderscheid worden gemaakt tussen warmteflux componenten die onafhankelijk zijn van de watertemperatuur en componenten die daar wel van afhankelijk zijn. Aangezien de nieuwe watertemperatuur ten gevolge van de warmte onttrekking gezocht wordt, kan dit alleen iteratief worden bepaald.

**Tabel 5.3 Warmtebalans van het watersysteem De Draai in een situatie zonder warmte onttrekking (A) en mét warmteonttrekking (B)**

	<b>Juni</b>	<b>Juli</b>	<b>Augustus</b>	
Zonnestraling	203,3	193,9	166,5	W/m <sup>2</sup>
Atmosferische straling	312,3	337,7	338,4	
Warmte uitstraling (A)	-388,5	-400,9	-397,1	
Warmte uitstraling (B)	378,0	-392,8	-388,5	
Verdamping (A)	-105,4	-109,2	-94,3	
Verdamping (B)	-75,7	-77,8	-62,8	
Geleiding naar atmosfeer (A)	-21,1	-21,0	-13,2	
Geleiding naar atmosfeer (B)	-6,42	-7,61	0,88	
Warmte onttrekking	-53	-53	-53	
Watertemperatuur normaal (A)	16,9	19,2	18,5	
Watertemperatuur (B)	15,3	17,7	16,9	
<b>Netto afkoeling</b>	<b>1,6</b>	<b>1,5</b>	<b>1,6</b>	<b>°C</b>

De tabel laat zien dat ook op basis van een warmtebalansberekening de afkoeling 1,5 à 1,6 °C is. Het resultaat is iets lager dan op basis van het opwarming/afkoelingsmodel.

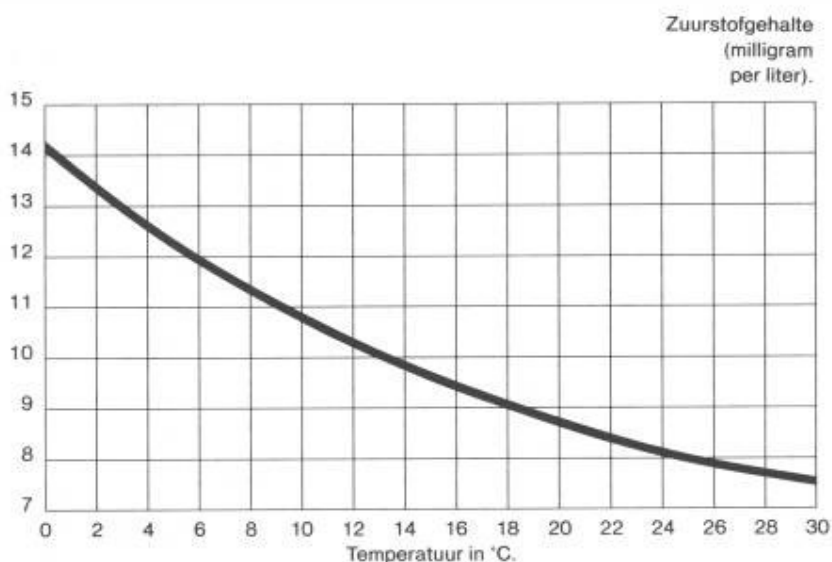


## 6 Waterkwaliteit en klimaatverandering

In nutriëntrijke omstandigheden, zoals die gebruikelijk zijn in Nederlands oppervlaktewater systemen, treden in de zomer geregeld waterkwaliteitsproblemen op. Voorbeelden van deze problemen zijn: eutrofiëring, overmatige groei van (blauw) algen, zuurstofloosheid en vissterfte. Door afkoeling van het oppervlaktewater neemt het zuurstofgehalte toe waardoor deze problemen in frequentie zullen afnemen.

### 6.1 Invloed op het zuurstofgehalte

Fysische aëratie is de opname van zuurstof via het wateroppervlak. Deze uitwisseling wordt gedreven door het verschil in het verzadigingszuurstofgehalte enerzijds en het actuele zuurstofgehalte anderzijds. Bij een lagere temperatuur ligt het verzadiging zuurstof gehalte hoger en zal er dus een grote fysische aëratie optreden. Het verzadigingszuurstofgehalte als functie van de temperatuur wordt beschreven door de grafiek in figuur 5.5.



**Figuur 6.1 De invloed van water temperatuur op het verzadigingsgehalte van zuurstof in water. [14]**

De situatie in juli in De Draai, waar het water wordt afgekoeld van 19,2 naar 17,8 graden, betekent een toename van de zuurstofverzadigingsconcentratie van 8,8 mg/l naar 9,2 mg/l

De zuurstofflux van fysische reëratie wordt beschreven met de volgende vergelijking:

$$\frac{dD}{dt} = -k_2 \cdot D$$

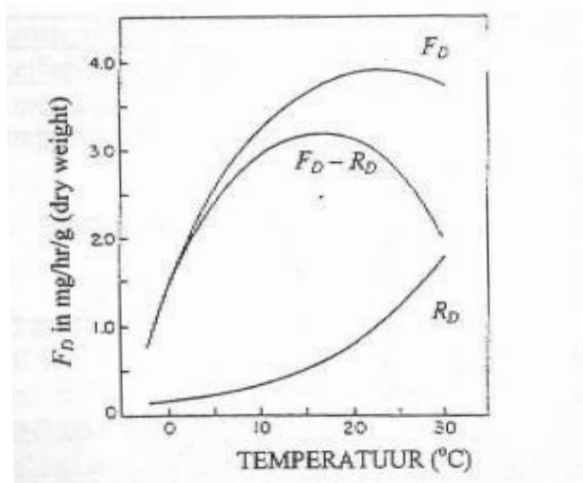
$D$  = zuurstofdeficit [mg/l]

$k_2$  = fysische reëratiecoëfficiënt [1/d]

Aangezien  $k_2$  voor kleine temperatuurverschillen constant is wordt de fluxverandering in fysische reëratie bij temperatuurverandering veroorzaakt door een procentuele vergroting van het zuurstofdeficit, aangezien de verzadingsconcentratie hoger is bij een lagere watertemperatuur. Indien het water een zuurstofgehalte heeft gelijk aan de streefwaarde (5 mg/l) is de procentuele toename in fysische reëratie gelijk aan 10%.

Daarnaast zal ook het circulatie effect via een toename van  $k_2$  zorgen voor een verhoogde fysische reëratie en wel met een factor  $u^3/8$  [11]. Dit betekent dat een verdubbeling van de stroomsnelheid leidt tot  $2^3/8 = 1,3$  keer zoveel zuurstofinstroom naar het water via de atmosfeer.

Naast fysische reëratie treedt ook biologische reëratie op, namelijk zuurstofproductie door algen. Bij een hogere temperatuur neemt zowel de zuurstofproductie als het zuurstofverbruik toe. Het verschil tussen beide; de nettoproductie, wordt gegeven door de grafiek in figuur 5.6. Deze laat zien dat de top voor netto productie rond de 18 °C ligt.



Figuur 6.2 Netto zuurstofproductie door algen ( $F_D - R_D$ ) als functie van temperatuur [4]

Door het water beperkt af te koelen neemt zowel de fysische zuurstof stroom als de netto biologische zuurstof productie in het oppervlaktewater van De Draai toe. Dit zal een positief effect hebben op het zuurstofgehalte en daarmee op de levensomstandigheden van met name vissen. Dit komt omdat zuurstofloze toestanden in het watersysteem, met daaraan gelinkt vissterfte, minder vaak zullen voorkomen dan in een situatie zonder afkoeling van het oppervlakte water. Dit positieve effect kan eventueel nog verder versterkt worden door bij de pomp te beluchten.

## **6.2 Invloed op klimaatverandering**

In 2006 heeft het KNMI [15] zijn nieuwe klimaatscenario's gepresenteerd. De vier scenario's laten een opwarming zien rond 2050 variërend van 0,9°C tot 2,3°C in de winter en van 0,9°C tot 2,8°C in de zomer. Het beperkt afkoelen van het oppervlaktewater in De Draai speelt op twee manieren in op klimaatverandering. Het speelt in op de zowel de oorzaken als de verwachte effecten van klimaatverandering.

### **6.2.1 Tegengaan van de oorzaken van klimaatverandering**

Heerhugowaard heeft de ambitie de eerste CO<sub>2</sub> neutrale gemeente van Nederland te worden. Hierdoor heeft het terugbrengen van de uitstoot van broeikasgassen hoge prioriteit. Het gebruik van het watersysteem voor het verwarmen van de woonwijk De Draai heeft een positief effect op het terugbrengen van broeikasgassen. Door warmte uit het watersysteem te gebruiken zijn geen fossiele brandstoffen nodig voor de verwarming en koeling van huizen. Indien in de referentietoestand met EPC =0,8 gemiddeld 1300 m<sup>3</sup> gas per jaar nodig is voor verwarmen bespaart dit in het geval van 3000 woningen voor de gehele De Draai 2,4 miljoen kubieke meter gas per jaar. Omdat voor het aandrijven van het warmteleveringssysteem ook energie nodig is, wordt van deze totale hoeveelheid 75% bespaard, dit staat gelijk aan een CO<sub>2</sub> uitstoot van 5583 ton per jaar.

### **6.2.2 Tegengaan van de effecten van klimaatverandering**

Naast het aanpakken van de oorzaken van klimaatverandering draagt het gebruik van het watersysteem als energieleverancier ook bij aan het tegengaan van de effecten van klimaatverandering. De opwarming van het klimaat betekent dat de watertemperatuur met dezelfde orde van grootte stijgt. Dit is beschreven voor de verschillende scenario's van het KNMI (2006) in een onderzoek van Loeve et al. [17]. Het afkoelen van het oppervlaktewater met 1.8 °C door het watersysteem als energieleverancier te gebruiken, kan ervoor zorgen dat dit effect geheel of gedeeltelijk achterwege blijft in De Draai. Hierbij dient opgemerkt te worden dat onder invloed van klimaatverandering te warmtevraag laat en de koudevraag stijgt. Hierdoor wordt het verschil in warmtevraag en koudevraag kleiner en daarmee ook de hoeveelheid warmte die uit het oppervlaktewater onttrokken wordt. De afkoeling van het oppervlaktewater door toepassing van het concept neemt daarmee ook af. Desondanks zal ook in dergelijke situatie de effecten van klimaatverandering teruggebracht worden, zij het met minder dan 1.8 °C. Hierdoor kan De Draai wellicht een niche vormen voor aquatische soorten die anders uit het gebied zouden verdwijnen. In een onderzoek van Alterra [13] wordt aangegeven dat een opwarming van de atmosfeer ertoe kan leiden dat de diersoorten uit Noord en Midden Frankrijk zich in Nederland zullen vestigen, terwijl andere soorten wellicht verdwijnen.

KRW watertype	KRW code	gemiddelde correlatiecoëfficiënt $T_{\text{luch}}-T_{\text{water}}$	watertemperatuur stijging (°C)			
			G	G+	W	W+
Gebufferde sloten	M1	1,05	0,9	1,5	1,8	2,9
Gebufferde (regionale) kanalen	M3	1,01	0,9	1,4	1,7	2,8
Grote diepe kanalen	M7	1,00	0,9	1,4	1,7	2,8
Gebufferde laagveensloten	M8	1,01	0,9	1,4	1,7	2,8
Ondiepe gebufferde plassen	M14	0,97	0,9	1,4	1,6	2,7
Ondiepe laagveenplassen	M25	1,02	0,9	1,4	1,7	2,9
Zwak brakke wateren	M30	1,02	0,9	1,4	1,7	2,9
Langzaam stromende rivier midden/benedenloop op zand	R5	0,97	0,9	1,4	1,7	2,7

**Figuur 6.3** Invloed van klimaatverandering op de watertemperatuur van diverse typen oppervlaktewater [17]

### 6.3 Kaderrichtlijn Water

De Europese Kaderrichtlijn Water verlangt een goede ecologische en chemische toestand in 2015 voor alle oppervlaktewateren. Waterbeheerders dienen hiervoor maatregelenplannen op te stellen per stroomgebied. Per stroomgebied moet in 2009 in stroomgebiedbeheersplannen zijn aangegeven hoe de waterkwaliteit kan worden verbeterd. In het plangebied van deze studie betreft het stroomgebied van de Rijn. Onderdeel van deze beheersplannen is het aangeven van concrete maatregelen om de verbetering in ecologische toestand te bereiken. Het afkoelen van het oppervlaktewatersysteem ten behoeve van toepassing van duurzame energie kan ook ingezet worden op het zuurstofgehalte te verbeteren en de effecten van klimaatverandering op het watersysteem deels op te vangen. Toepassing van het watersysteem als energieleverancier kan een kosteneffectieve maatregel zijn omdat het zowel de waterkwaliteit verbeterd als een duurzame energievoorziening mogelijk maakt.

### 6.4 Aandachtspunten

Een punt waar aandacht aan besteed moet worden is de milieuvriendelijkheid van de pomp. De waterpomp die het water langs de warmtewisselaar leidt, verplaatst ook allerlei levende organismen door deze pomp. Er moet dus worden gekozen voor een pomp met minimale schade voor vislarven en dergelijke. Daarnaast kunnen mosselen en algen zich afzetten in de pomp, ook in dit geval zal een pomp gekozen moeten worden die tegen deze zaken bestand is en waarvoor de mate van onderhoud beperkt is. Dezelfde eisen gelden echter ook voor de situatie zonder warmtepomp waarbij alleen een circulatiepomp wordt geïnstalleerd.

Een ander aandachtspunt is het seizoen waarin warmte onttrokken wordt aan het oppervlaktewatersysteem. Hoewel er positieve effecten zijn in de zomer en herfst, is het effect in het voorjaar minder positief. Aangezien een lagere watertemperatuur in het voorjaar het paaigedrag en ontkiemingsmoment van primaire plantensoorten kan vertragen. In een strenge winter heeft onttrekken ook negatieve gevolgen op de ecologie [10]. Aanbevolen wordt dus warmte te onttrekken in de zomer en eventueel de herfst, maar niet in de andere jaargetijden.

## **6.5 Conclusie**

Onttrekking van warmte aan het oppervlaktesysteem in De Draai om het energiedeficit van het KWO-systeem op te heffen zorgt voor een daling van circa 1,5°C van de gemiddelde watertemperatuur. Bij deze daling zijn er enkele effecten voor de ecologie te verwachten:

- Zuurstoflevering vanuit de atmosfeer neemt met 10% toe
- Biologische netto zuurstofproductie neemt beperkt toe
- De extra circulatiestroom die ontstaat door de warmte onttrekking leidt tot een extra zuurstoflevering vanuit de atmosfeer van 30% ten opzichte van de situatie zonder warmteonttrekking
- Deze extra zuurstofbronnen zullen een positief effect hebben op de aquatische ecologie en kunnen ook in een maatregelenplan voor de Europese Kaderrichtlijn Water worden ingepast



## 7 Economische haalbaarheid

### 7.1 Investeringskosten

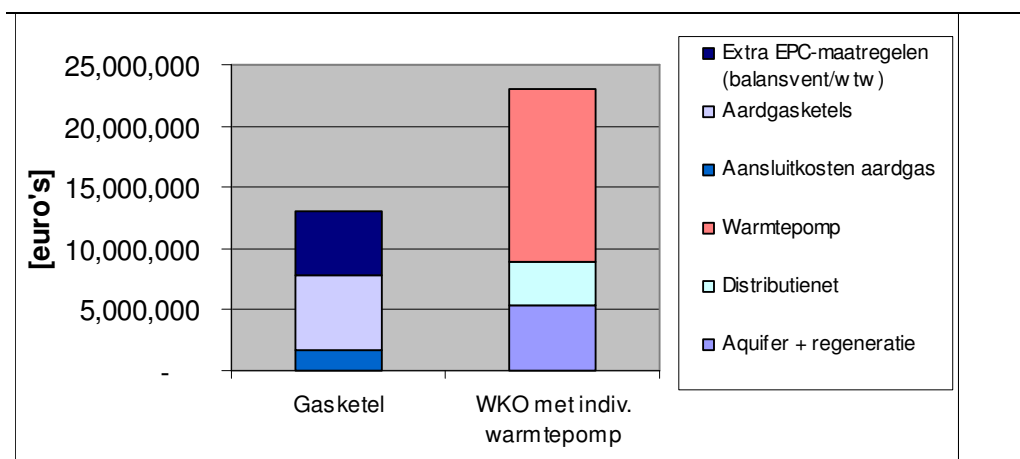
In vergelijking met een systeem met individuele HR-gasketels zijn de investeringen in een warmtepompsysteem met aquifers als bron hoog. In tabel 6.1 zijn de kosten van beide systemen per woning weergegeven.

Tabel 7.1 Investeringskosten per woning

Investing per woning	HR-gasketel	Warmtepomp met aquifer
V-ketel	EUR 2.200,00	
Aardgasaansluiting	EUR 600,00	
EPC maatregelen	EUR 800,00	
Warmtepomp		EUR 5.000,00
Distributienet		EUR 1.200,00
Aquifer incl. regeneratie		EUR 1.900,00
Totaal	EUR 4.600,00	EUR 8.100,00

Voor de berekeningen van de totaalkosten wordt uitgegaan van een woningaantal van 2.800.

In figuur 6.1 zijn de totale investeringskosten voor het project in beeld gebracht.



Figuur 7.1 Totale Investeringskosten

Om het project economisch haalbaar te maken moet het verschil in investeringen (EUR 3500,00 per woning) terugverdiend worden met de besparing op de jaarlijkse exploitatiekosten.

## 7.2 Exploitatiekosten

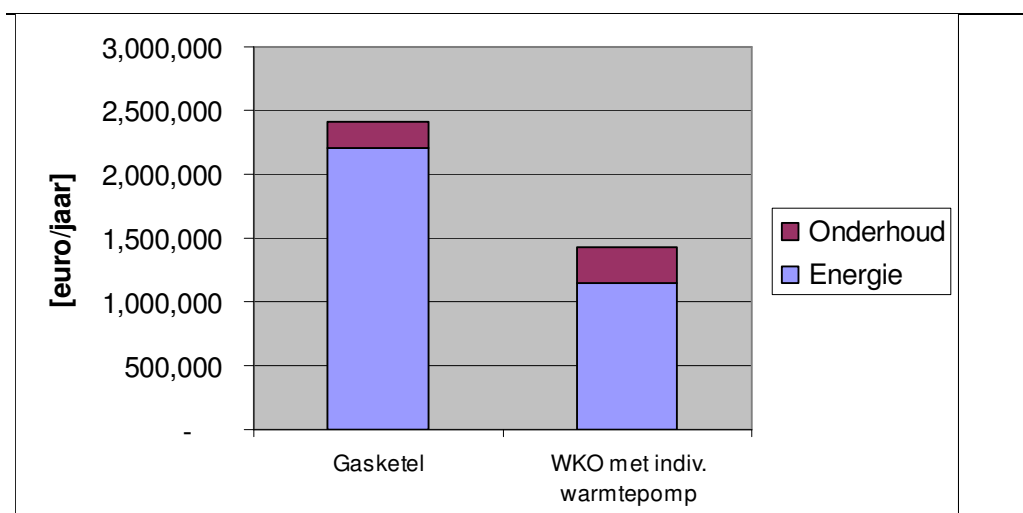
De jaarlijkse exploitatiekosten voor beide systemen zijn:

HR-gasketel: EUR 850,00

Warmtepomp: EUR 500,00

In de exploitatiekosten voor het warmtepompconcept is uitgegaan van een jaarlijkse bijdrage voor koude van EUR 120,00 per woning. Als deze bijdrage niet gevraagd zou worden, zijn de exploitatiekosten per saldo EUR 620,00. Deze bijdrage is echter gerechtvaardigd, omdat ook extra comfort geleverd wordt ten opzichte van het gasketelconcept.

In figuur 6.2 zijn de jaarlijkse exploitatiekosten van het totale project weergegeven. Deze bestaan uit kosten voor energie en onderhoud. Het effect van beperktere energiekosten voor het warmtepompconcept is duidelijk zichtbaar.



Figuur 7.2 Jaarlijkse exploitatiekosten

## 7.3 Economische haalbaarheid

Met behulp van verschillende methodes kan de economische haalbaarheid vastgesteld worden. Daarbij zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd: een inflatie van 2% per jaar, een rente op geïnvesteerd vermogen van 6% per jaar en een prijsstijging van gas en elektriciteit van 5% respectievelijk 3% per jaar (deze laatste prijsstijgingen zijn overigens zeer conservatief, prijsstijgingen van 8% respectievelijk 5% worden soms ook aangehouden).

### 7.3.1 Eenvoudige terugverdientijd

De eerste methode is de 'eenvoudige terugverdientijd'. Dit is de tijd om de geïnvesteerde kosten terug te verdienen, zonder hierbij het effect van rente of geldontwaarding te betrekken. De hogere investeringen voor de warmtepompinstallatie worden terugverdiend door de vermeden exploitatiekosten.



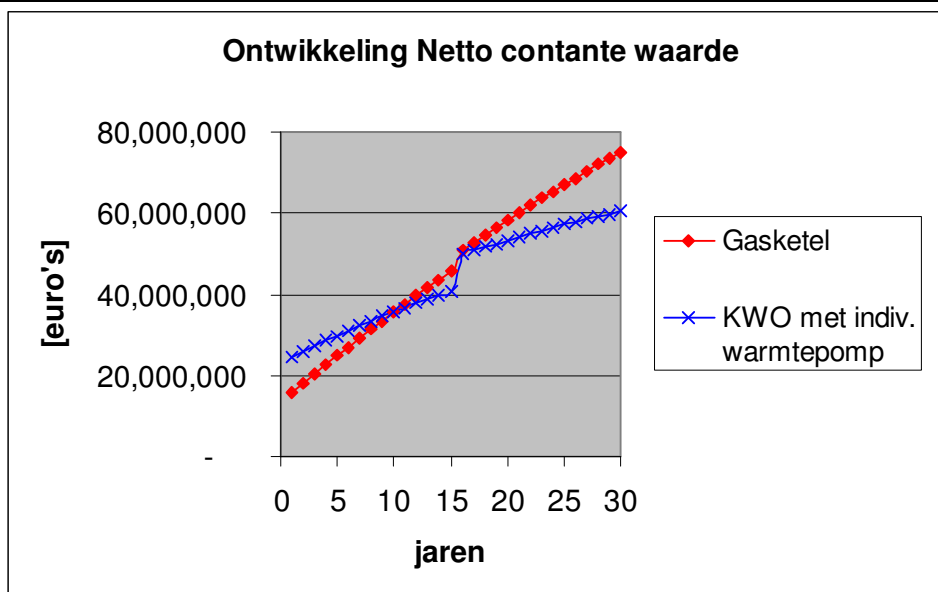
Voor het warmtepompconcept is de eenvoudige terugverdientijd 10 jaar. Zonder de bijdrage voor koude zou dit 15 jaar zijn. De herinvesteringen na 15 jaar zijn hierin overigens ook niet meegenomen.

### 7.3.2 Netto contante waarde

De belangrijkste methode om de haalbaarheid te bepalen is de netto contante waarde. De netto contante waarde (NCW) drukt de waarde van geld in de toekomst uit in geld op dit moment. In figuur 6.3 is de NCW van alle kosten voor de twee concepten weergegeven; hoe hoger de NCW, hoe duurder en dus ongunstiger een concept is.

Voor de levensduur van de ketels en de warmtepompen is uitgegaan van een technische levensduur van 15 jaar. Voor de levensduur van de overige conceptonderdelen (aquifer, distributienet) is uitgegaan van 30 jaar. Omdat het om investeringen gaat, wordt de NCW berekend met een rentepercentage van 6 %.

Uit figuur 6.3 blijkt dat ook wat betreft de NCW het warmtepompsysteem als gunstigste naar voren komt en een betere (lagere) netto contante waarde heeft na 30 jaar dan het gasketelconcept. Het voordeel na 30 jaar is 20%. Zonder de bijdrage voor koude zou dit 11% zijn.



Figuur 7.3 Ontwikkeling Netto Contante Waarde (NCW)

De realisatie en het beheer van de energievoorziening wordt uit handen genomen van de individuele bedrijven en zal worden ondergebracht bij een energiepartner.

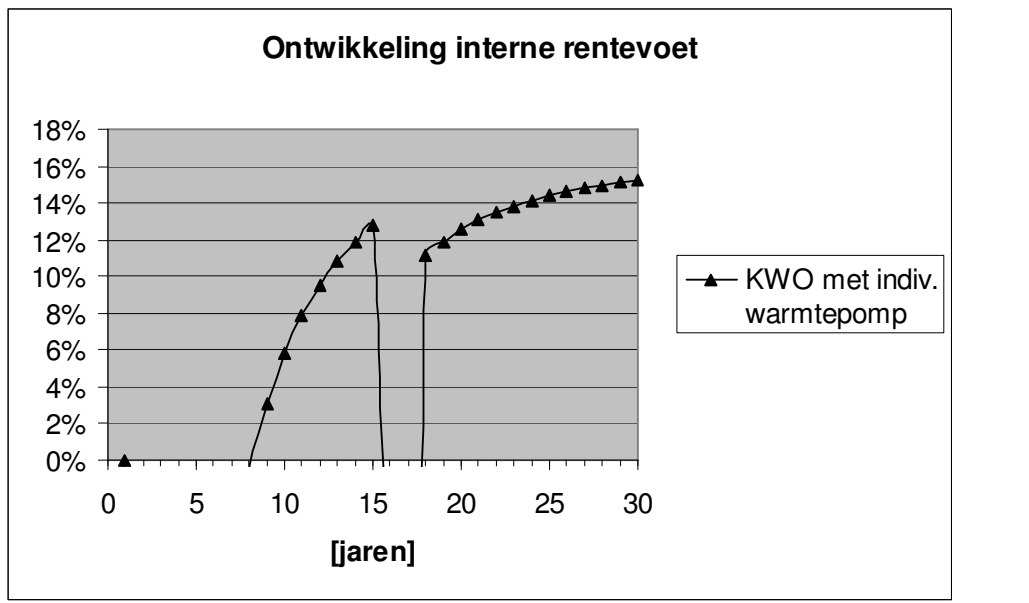
### 7.3.3 Interne rentevoet

De laatste methode is de interne rentevoet. De interne rentevoet (IRV, internal rate of return of IRR) is het rentepercentage dat kan worden verkregen op geïnvesteerd kapitaal, ofwel het rendement van de investering. Wiskundig is de IRV gedefinieerd als het rentepercentage dat bij een reeks (positieve en negatieve) kasstromen resulteert in een NCW (zie paragraaf 6.3.2) van nul. Voor een bedrijf is een investering voordelig als de IRV hoger is dan hun kapitaalkosten. Woningbouwcorporaties nemen over het algemeen genoegen met een IRV van 6%, bij energiebedrijven is dit, afhankelijk van de bedrijfsdoelstelling, 8 -15%.

Als je voor het warmtepompconcept de meerinvestering ten opzichte van de referentie als negatieve cashflow neemt en het jaarlijkse exploitatievoordeel als positieve cashflow, dan kun je aan het eind van elk jaar de interne rentevoet over de gehele voorgaande periode berekenen. In figuur 6.3 is de ontwikkeling van de interne rentevoet voor het warmtepompconcept weergegeven. De interne rentevoet na 30 jaar is 15%. Bij die rentevoet is de NCW van de kasstroomverschillen (na 30 jaar) precies nul. Zonder de bijdrage voor koude zou de IRV 11% zijn.

Overigens is dit een fictief voorbeeld, want in werkelijkheid zal de energieleverancier een groot deel van de investering (aquifer, distributienet) doen, terwijl het exploitatievoordeel voor een groot deel bij de bewoners terecht komt. In de praktijk wordt dit ondervangen doordat de energieleverancier aan de bewoners een eenmalige bijdrage in de aansluitkosten (BAK) en een jaarlijks vastrecht (VR) vraagt. Ondanks het fictieve karakter van deze methode in dit geval, geeft deze methode toch een indicatie van de haalbaarheid.

De scherpe dip (figuur 6.4) in het verloop van de interne rentevoet bij 16 jaar wordt veroorzaakt door het feit dat de herinvestering, die na 15 jaar gedaan moet worden om een deel van de installaties (warmtepompen, kleppen, meters) te vervangen, groter is dan bij gasketels.



**Figuur 7.4** Interne rentevoet (IRV)

### 7.4 Conclusie

De investeringskosten van een warmtepompsysteem met aquifers als bron en een koudwaternet zijn veel hoger dan bij een conventioneel systeem met HR-gasketels. Deze extra investeringen worden echter terugverdiend met de lagere jaarlijkse exploitatiekosten. Het verschil in de netto contante waarde, tussen het gasketelsysteem en het warmtepompsysteem, is na 30 jaar circa 20%, in het voordeel van het warmtepompsysteem.



## 8 Conclusies en aanbevelingen

### 8.1 Conclusies

Naar aanleiding van voorgaande hoofdstukken wordt geconcludeerd dat:

- De bodemopbouw ter plaatse van 'De Draai' in principe geschikt is voor KWO
- Voor het ondergrondse systeem van bronnen, waarmee de koude -warmteopslag wordt gerealiseerd, een vergunning in het kader van de Grondwaterwet bij de Provincie Noord-Holland aangevraagd dient te worden. Gelet op de omvang van de onttrekking ( $\geq 3 \cdot 10^6$  m<sup>3</sup>/jaar) is deze onttrekking tevens m.e.r.-plichtig
- De onttrekking van warmte aan het oppervlaktesysteem in 'De Draai' het energiedeficit van het KWO-systeem opheft. Het effect hiervan is een daling van de gemiddelde watertemperatuur met circa 1,5 °C van
- De daling van de oppervlaktewatertemperatuur met 1,5 °C de volgende effecten heeft
  - De zuurstoflevering vanuit de atmosfeer neemt toe met circa 10%
  - De biologische netto zuurstofproductie neemt beperkt toe
  - De extra circulatiestroom die ontstaat door de warmte onttrekking leidt tot een extra zuurstoflevering vanuit de atmosfeer van 30% ten opzichte van de situatie zonder warmteonttrekking.
  - Deze extra zuurstofbronnen zullen een positief effect hebben op de aquatische ecologie en kunnen ook in een maatregelenplan voor de Europese Kaderrichtlijn Water worden ingepast
- De investeringskosten van een warmtepompsysteem met aquifers als bron en een koudwaternet veel hoger zijn dan bij een conventioneel systeem met HR-gasketels. Deze extra investeringen worden echter terugverdiend met de lagere jaarlijkse exploitatiekosten. Het verschil in de netto contante waarde, tussen het gasketelsysteem en het warmtepompsysteem, is na 30 jaar circa 20%, in het voordeel van het warmtepompsysteem

### 8.2 Aanbevelingen

Naar aanleiding van voorgaande hoofdstukken wordt aanbevolen:

- Te starten met het opstellen van het voorontwerp voor het gehele KWO systeem (ondergrond, bovengrond en oppervlaktewater)
- De geohydrologische, grondmechanische en thermische effecten van het globale voorontwerp voor het systeem van koude/warmteopslag te bepalen
- De thermisch effecten van het globale voorontwerp te bepalen voor op het oppervlaktewatersysteem
- In overleg te treden met de Provincie Noord-Holland betreffende de Grondwatervergunning en de m.e.r.-procedure

In het kader van de m.e.r.-procedure de effecten van de aanleg van een KWO-systeem in De Draai in samenhang met de geplande KWO op bedrijventerrein De Vork onderzoeken

#### Literatuur

1. Speelman, H. en H. Houtman, Grondwaterkaart van Nederland, Zandvoort (24) Amsterdam (25 oost en 25 west), december 1979, Dienst Grondwaterverkenning TNO, Delft
2. Internetpagina d.d. 30 oktober 2006: [http://regisloket.nitg.tno.nl/rgs\\_map/index.html](http://regisloket.nitg.tno.nl/rgs_map/index.html)
3. Internetpagina d.d. 15 november 2006: <http://dinolks01.nitg.tno.nl/dinolks/DINOLoket.jsp>
4. Mazijk, A. van en G. Bolier, 2002, Waterkwaliteitsmanagement, collegedictaat Technische Universiteit Delft, Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen
5. Nelen & Schuurmans, 2006, Optimaliseren Waterinrichting De Draai, Dossier: H0029
6. Brunt, D. 1932. Notes on Radiation in the Atmosphere. Quarterly Journal of The Royal Meteorological Society, 389-418
7. Edinger, J. E. and Geyer, J. C. 1965. Heat exchange in the environment. Johns Hopkins University, Sanitary Engineering and Water Resources, 1965 (Jun.), Baltimore
8. Wiggers, J. B. M., Donze, M., van Mazijk, A., and Bolier, G. 1998. Processen in het watermilieu
9. Boderie, L. en L. Dardengo, 2003, Warmtelozing in oppervlaktewater en uitwisseling met de atmosfeer. Een inventarisatie van rekenmethodieken en modellen. WL-Delft Hydraulics Opmachtgever: Riza
10. Baptist, M, 2006. Persoonlijke communicatie, 16 november 2006
11. Dobbins, W.E., 1964, BOD and oxygen relationships in streams. Proceedings. ASCE, 90, SA3, paper 3949, pp. 53-78
12. Graaf, R.E. de Transitions to more sustainable concepts of urban water management and water supply. MSc thesis report. Delft University of Technology
13. Hoek, T.H. van den en P.F.M. Verdonshot, 2001, De invloed van veranderingen in temperatuur op beekmacrofauna. Wageningen. Alterra.
14. Klosterman, J. (1990), Waterkwaliteit in Zuid Holland. Handleiding voor onderzoek van oppervlaktewater. ISBN 90-73250-06-4
15. KNMI (2006). Klimaat in de 21e eeuw. Vier scenario's voor Nederland. De Bilt, The Netherlands

16. Theurer, Fred D., Voos, Kenneth A., and Miller, William J. 1984 Instream Water Temperature Model. Instream Flow Inf. Pap. 16 Coop. Instream Flow and Aquatic System Group, U.S. Fish & Wildlife Service. Fort Collins, Colorado, USA
17. Loeve R., T. Claassen en p. Droogers (2006), Klimaatverandering en waterkwaliteit. H2O 22.2006, 17 november

