

Engineering the earth

Thermische Energie uit Oppervlaktewater
Business case voormalig Beursgebouw Leeuwarden



Engineering the earth

Thermische Energie uit Oppervlaktewater
Business case voormalig Beursgebouw Leeuwarden

Thermische Energie uit Oppervlaktewater

Business case voormalig Beursgebouw Leeuwarden

Opdrachtgever **Unie van Waterschappen**

Postbus 93218
2509 AE Den Haag
T 070 - 456 1571 | E rromijn@uvw.nl
Contactpersoon: de heer R. Romijn

Adviseur **IF Technology bv**

Postbus 605
6800 AP ARNHEM
T 06-50451394 | E b.scholten@iftechnology.nl
Contactpersoon: de heer B. Scholten

Colofon

Auteur: de heer F. Niewold
Versie: Concept 1.1
Gecontroleerd door: de heer B. Scholten
Vrijgegeven door: de heer M. Koenders

Inhoudsopgave

1	Samenvatting	5
2	Inleiding	8
2.1	Algemeen.....	8
2.2	Plan van aanpak	8
2.2.1	Selecteren van kansrijke locaties.....	8
2.2.2	Inventarisatie gebiedskenmerken en belanghebbenden.....	9
2.2.3	Verkenning business case	9
2.2.4	Verdiepingsfase	9
2.2.5	Projectrealisatie en exploitatie	10
2.3	Doelstellingen casussen	10
2.3.1	Algemene doelstellingen.....	10
2.3.2	Doelstellingen casus: Beursgebouw Leeuwarden	10
2.4	Leeswijzer	10
3	Inventarisatie.....	12
3.1	Stakeholderanalyse	12
3.2	Klimaatadaptie	12
3.3	Kenmerken afnemers energie.....	13
3.4	Kenmerken watersysteem.....	15
3.5	Kenmerken bodem.....	18
3.6	Omgevingsbelangen	21
3.6.1	Juridische belangen.....	21
4	Business case.....	22
4.1	Energieconcepten	22
4.2	Schetsontwerp	27
4.3	Impact leefomgeving	29
4.4	Financiële analyse	30
4.5	Duurzaamheid.....	34
5	Conclusies en aanbevelingen	36
5.1	Technische en energetisch haalbaarheid.....	36
5.2	Ruimtelijke inpassing	37
5.3	Financiële haalbaarheid	38
5.4	Spoorboekje.....	38

Referenties	39
Afkortingen.....	40
6.1 Principe Smart polder – TEO	41
6.2 Principe Warmte- en Koude Opslag (WKO).....	44
6.3 Koude uit diepe plassen.....	46
 Bijlage 1 Conceptbeschrijvingen TEO/Smart polder	
 Bijlage 2 Energieconceptvorming gebouwinstallatie	

1

Samenvatting

Uitgangspunten

Deze business case is uitgevoerd om inzicht te krijgen in de technische en financiële haalbaarheid van warmte- en koude opslag (WKO) in combinatie met thermische energie uit oppervlaktewater (TEO). De business case is toegepast op het voormalig Beurs- en waaggebouw in Leeuwarden (in het voorgaande en vervolg van dit rapport “Beursgebouw” genoemd) (zie Figuur 1). Voor deze ontwikkeling is een inschatting gemaakt van het energieverbruik voor de warmtevraag van 790 MWh_{th} (2.840 GJ_{th}) per jaar en de koudevraag van 80 MWh_{th} (290 GJ_{th}) per jaar.

Het oppervlaktewater wordt verkregen uit de Zuider Stadsgracht. De gracht nabij de locatie is ca. 28 meter breed en ca. 2,1 meter diep. Uitgangspunt is dat de stroming in het kanaal afhankelijk is van het getijde. Daardoor kan de stroming zowel naar links als naar rechts plaatsvinden.

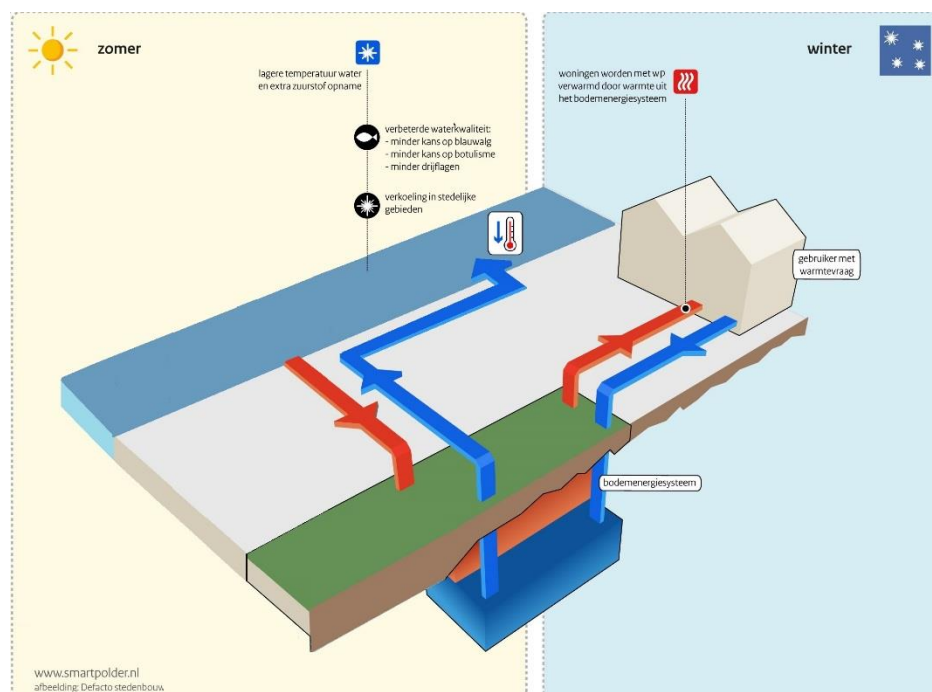
*Figuur 1
Voormalig
Beursgebouw
Leeuwarden.
Bron: Google Maps.*



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 overwegend warmtevraag (zoals woningen) en wordt 100% elektrisch opgewekt. TEO kan worden aangevuld met een warmte en koudeopslagsysteem in de bodem (WKO), zie Figuur 2.

*Figuur 2
Concept TEO: Smart
polder, WKO met
warmtewinning uit
oppervlaktewater.*



Als TEO aangevuld wordt met een WKO systeem wordt gebruik gemaakt van het natuurlijke temperatuurverschil tussen het oppervlaktewater in de zomer (ca. 18 °C) en de stabiele grondwatertemperatuur (ca. 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 het beursgebouw is de warmtevraag bijna tien maal zo groot als de koudevraag. Hiermee biedt de toepassing van de combinatie van warmtewinning uit oppervlaktewater met een seizoensopslag in een bodemenergiesysteem een zeer interessante en duurzame kans om het gebouw te voorzien van de benodigde warmte en koude.

Op basis van de huidige uitgangspunten is een monobron met een maximaal debiet van 30 m³/h toereikend om het gebouw van voldoende warmte en koude te voorzien. Om de

bronnen in de zomer voldoende te kunnen laden is een oppervlaktewatersysteem van maximaal 30 m³/h nodig. Een grondwater gevuld distributienet en de oppervlaktewaterleidingen zijn beperkt, omdat het WKO systeem en het oppervlaktewater systeem dicht bij het gebouw geplaatst kunnen worden. Ook zijn er juridisch gezien geen knelpunten voor de realisatie van TEO en WKO.

Duurzaamheid

Door de toepassing van TEO met een oppervlaktewaterdebiet van 30 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 360 GJ_{th} ten opzichte van traditionele koelers, waarmee extra hittestress wordt voorkomen. De CO₂ emissie reductie kan in het meest optimale geval (volledig groen opgewekte stroom) 186 ton/jaar bedragen.

Financiële haalbaarheid

De financiële haalbaarheid van een WKO + TEO systeem bij het Beursgebouw in Leeuwarden is getoetst door een vergelijking te maken met een conventioneel (gasketel en compressiekoelmachine) systeem. De verwachte terugverdientijd van een WKO + TEO systeem is ongeveer 19 jaar.

Vervolg

De plannen voor de renovatie van het Beursgebouw zijn al in een vergevorderd stadium. Hierbij is het toepassen van een warmtepomp in combinatie met WKO al onderdeel van het ontwerp. De integratie van TEO in dit ontwerp heeft een significante meerwaarde 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 op korte termijn wordt afgestemd met de belanghebbenden.

2

Inleiding

2.1 Algemeen

De potentie van TEO is in 2016 door de Energiecoalitie Rijkswaterstaat & Unie van Waterschappen 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 de 7 regio's en deze in te kunnen brengen in 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.

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.

In dit rapport wordt de technische en financiële haalbaarheid van de casus Beursgebouw Leeuwarden 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 (PVA) 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

Ophalen kansrijke locaties via workshops met de belanghebbenden. 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.

Het Beursgebouw Leeuwarden is als één van de kansrijke locatie naar voren gekomen.

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: Beursgebouw Leeuwarden

De doelstelling van deze specifieke casus is om de technische en financiële haalbaarheid inzichtelijk te maken voor de belanghebbenden. Dit is in dit geval de gebouweigenaar de Rijksuniversiteit Groningen.

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

Rijksuniversiteit Groningen

De Rijksuniversiteit Groningen is de gebouweigenaar.

Wetterskip Fryslân

Wetterskip Fryslân is verantwoordelijk voor het kwalitatieve en kwantitatieve beheer van het oppervlaktewater in Friesland.

Provincie Friesland

De provincie is bevoegd gezag voor de realisatie van WKO.

Gemeente Leeuwarden

De gemeente Leeuwarden is eigenaar van de kade van de Zuider Stadsgracht 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.

3.2 Klimaatadaptie

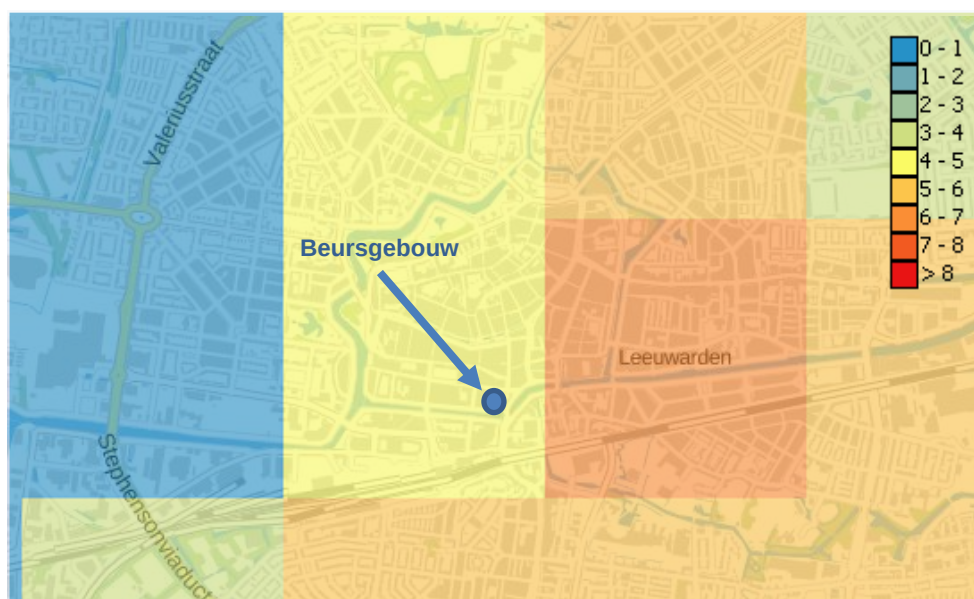
Het klimaat warmt op en veel van de sinds de jaren vijftig waargenomen veranderingen in het klimaatsysteem zijn in de afgelopen honderden tot duizenden jaren niet eerder voorgekomen. De concentratie van broeikasgassen is toegenomen, de atmosfeer en de oceaan zijn opgewarmd, de hoeveelheid sneeuw en ijs 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).

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 Klimaateffectatlas zijn deze effecten te zien middels de hittekaart. Hierbij is voor Leeuwarden te zien dat de

temperatuur in stedelijk gebied wel 7-8 °C hoger kan zijn dan daarbuiten. Dit zal invloed hebben in de ontwikkeling van blauwalgen en met de verwachte klimaatverandering in de toekomst erger worden.

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.

*Figuur 3
Hittekaart van
Leeuwarden,
Bron:
Klimaat-effectatlas.*



3.3 Kenmerken afnemers energie

Energie afnemer(s)

De potentiële afnemer van warmte en koude is de Rijksuniversiteit Groningen. Het gebouw dat bestudeerd is in deze casus is het voormalig Beursgebouw in Leeuwarden. Het gebouw kan aangemerkt worden als utiliteitsbouw voor wetenschappelijk onderwijs in de functie die het gaat vervullen.

Eigenschappen gebouw(en)

De relevante gebouw eigenschappen zijn gepresenteerd in Tabel 1.

Tabel 1
Gebouw
eigenschappen
Beursgebouw
Leeuwarden.

Eigenschappen gebouw	Eenheid	Waarde
Bouwjaar	jaar	1880 ¹
Bruto-vloeroppervlakte (BVO)	m ²	5300
Isolatiewaarden bouwkundige schil ²		
Rc - begane grond vloer	m ² K/W	3,5
Rc - begane grond wanden	m ² K/W	3,5
U - beglazing HR++ glas	W/m ² K	1,1
Rc - 1e verdieping vloer	m ² K/W	Ongeïsoleerd
Rc - 1e verdieping wanden < 1,5 m boven de vloer	m ² K/W	3,5
Rc - 1e verdieping wanden > 1,5 m boven de vloer	m ² K/W	0,58
U - 1e verdieping beglazing HR glas	W/m ² K	1,3
Rc - plafond	m ² K/W	2,5
Rc - dakconstructie	m ² K/W	Ongeïsoleerd
Warmte en koude data gebouw ^{2,3}		
Energievraag warmte	MWh _{th}	790
Energievraag koude	MWh _{th}	80
Vermogensvraag warmte	kW _{th}	421
Vermogensvraag koud	kW _{th}	191
Tarieven gas/elektra ²		
Elektra ⁴	€/kWh _e	0,10

¹ Bron: [https://nl.wikipedia.org/wiki/Beurs- en waaggebouw \(Leeuwarden\)](https://nl.wikipedia.org/wiki/Beurs- en waaggebouw (Leeuwarden)).

² Bron: Kor Smit, persoonlijke communicatie, 24 mei 2017.

³ Bron: Kor Smit, persoonlijke communicatie, 22 juni 2017.

⁴ De RUG hanteert één geïntegreerd tarief voor elektra. Dit is inclusief transport, BTW, energiebelasting, vaste kosten.

Systeem concept energielevering gebouw

Voor de opwekking van warmte wordt gebruik gemaakt van een elektrische warmtepomp. De warmtepomp is aangesloten op een WKO systeem. De koude wordt direct geleverd vanuit het WKO systeem en met behulp van een warmtewisselaar afgegeven aan het

distributienetwerk van het gebouw. Het werkingsprincipe van een WKO systeem is beschreven in Bijlage 1.

Op de begane vloer wordt gebruik gemaakt van laagtemperatuur vloerverwarming in de dekvloer. Op een aantal punten zijn werkplekken gesitueerd dicht bij de gevel. Hier zullen aanvullende radiatoren worden geplaatst (Kor Smit, persoonlijke communicatie, 24 mei 2017).

3.4 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 Zuider Stadsgracht. De afmetingen van de gracht ten westen van de Wirdumerpoortsbrug (zie Figuur 4) zijn (Arjan van den Hoogen, persoonlijke communicatie, 13 juni 2017):

- Breedte: 28 m
- Diepte: 2,1 m-NAP

*Figuur 4
Zuider Stadsgracht
en
Wirdumerpoortsbrug.
Bron: Google Maps.*



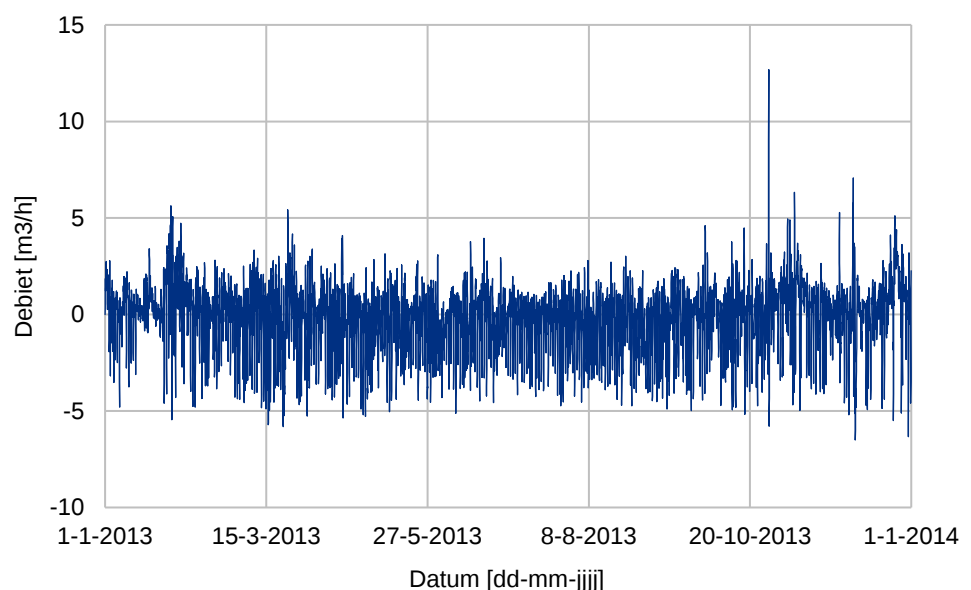
Debiet oppervlaktewater

Het verwachte debiet in de Zuider Stadsgracht is weergegeven in Figuur 5. Het moet expliciet vermeld worden dat het stromingspatroon is verkregen aan de hand van een simulatie met SOBEK. Het resultaat geeft een indicatie van de stroming voor het jaar 2013. Samenvattend kan Figuur 5 als volgt geïnterpreteerd worden (Arjan van den Hoogen, persoonlijke communicatie, 7 juni, 2017):

- Het beeld is dynamisch. Dit komt omdat de stroming continu wordt beïnvloed door zowel de Tjerk Hiddes sluizen bij Harlingen als de Dokkumer Nieuwe Zijlen sluizen bij het Lauwersmeer.
- Het gemiddelde debiet was $-0,1 \text{ m}^3/\text{s}$. De negatieve waarde geeft aan dat de stromingsrichting van oost naar west is.
- Het maximale debiet van oost naar west was $6,5 \text{ m}^3/\text{s}$. Het maximale debiet van west naar oost was $12,7 \text{ m}^3/\text{s}$. Deze piekwaarde werd veroorzaakt door de storm van 28 oktober 2013.
- De wind heeft ook effect op de stroming in de Friese boezem.

Aan de hand van deze analyse is het uitgangspunt voor de business case stilstaand water.

*Figuur 5
Debiet Zuider
Stadsgracht 2013.
Bron: Arjan van den
Hoogen, persoonlijke
communicatie, 7 juni,
2017.*

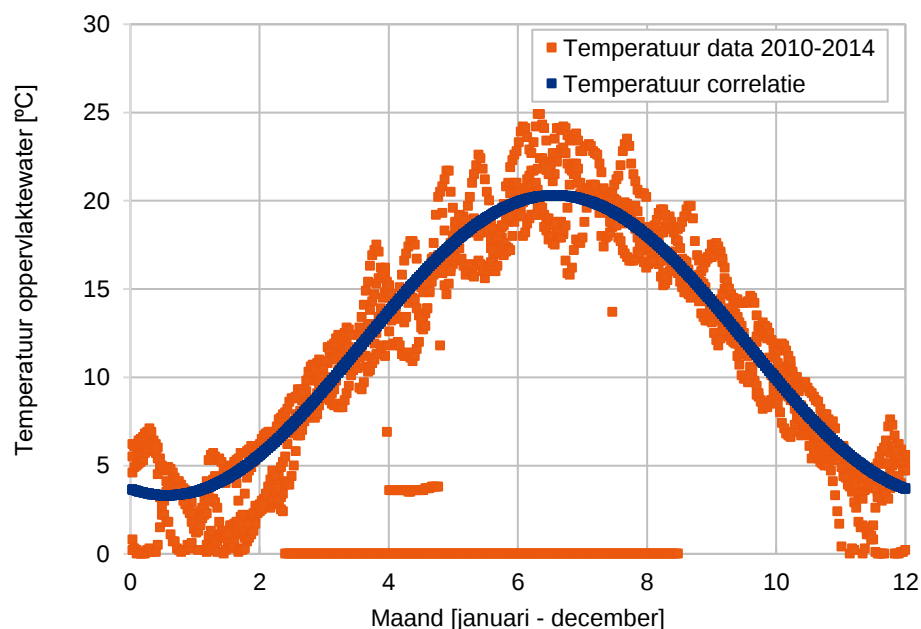


Temperatuur oppervlaktewater

De temperatuur van het oppervlaktewater tussen 2010 en 2014 is weergegeven in Figuur 6. Er moet vermeld worden dat het meetpunt nabij de Drachtsterbrug is. Dit water staat in korte verbinding met de Zuider Stadsgracht. Het is, in vergelijking met de Zuider Stadsgracht, boezemwater. Er mag worden aangenomen dat deze dataset representatief is voor de Zuider Stadsgracht.

Tussen 14 maart 2013 en 15 september 2013 is er geen data beschikbaar. Dit is te zien aan de reeks 0 waarden voor de temperatuur. Deze waarden zijn genegeerd in de temperatuur correlatie (blauwe lijn). De gebruikte temperaturen voor de correlatie zijn de gemiddelde dagtemperaturen. Deze correlatie wordt gebruikt in de energetische analyse om het moment van laden en de hoeveelheid energie die geladen kan worden te bepalen.

*Figuur 6
Temperatuur
oppervlaktewater,
locatie:
Drachtsterbrug.
Bron (temperatuur
data 2010-2014):
Arjan van den
Hoogen, persoonlijke
communicatie, 13
juni, 2017.*



Juridisch

Het gebruik van oppervlaktewater voor de levering van energie, het onttrekken en lozen van oppervlaktewater maakt de energieleverancier vergunning plichtig bij het waterschap in het kader van de Waterwet. 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.

3.5 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 Leeuwarden is geschematiseerd in een aantal watervoerende pakketten en scheidende lagen. De verwachte bodemopbouw op de locatie is weergegeven in Tabel 2.

Tabel 2
Bodemopbouw.

Diepte [m-mv]*	Lithologie	Geohydrologie
0 – 15	klei, veen en matig grof zand	deklaag
15 – 170	matig grof tot uiterst grof zand	1 ^e /2 ^e watervoerend pakket
170 – 180	klei en matig fijn zand	1 ^e scheidende laag
180 – 250	matig fijn tot matig grof zand	1 ^e /2 ^e watervoerend pakket
> 250	klei en fijn zand	hydrologische basis

* Het maaiveld bevindt zich op circa 3 m+NAP.

Het bovenste deel van het gecombineerde eerste en tweede watervoerende pakket (15 – 170 m-mv) is zeer geschikt voor een open bodemenergiesysteem met een capaciteit van 250 m³/h per doublet.

Geohydrologie

In Tabel 3 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
Technische en
juridische aspecten
bodemenrgiesysteem.

onderwerp		toelichting
bodemopbouw		
doorlaatvermogen	✓	geschikt
dikte pakket	✓	voldoende dik
grondwater		
grondwaterstand	✓	dieper dan 0,8 m-mv
stijghoogte 1 ^e /2 ^e watervoerend pakket	✓	geen risico op artesisch grondwater
grondwaterstroming	✓	5 m/jaar in noordwestelijke richting
zoet/brak/zout-overgangen	✓	overgangen op circa 5 m-mv
gas	✓	geen afwijkende gasdruk
deeltjes	✓	geen verhoogd risico op deeltjes
redox	✓	geen redoxovergang in opslagpakket
temperatuur	✓	11 °C
vergunbaarheid		
grondwatergebruikers	!	1 open bodemenrgiesysteem van Fries Museum ten westen van locatie. Afstemming van bronlocaties/bronfilters is nodig om negatieve interferentie te voorkomen.
zettingen	✓	noemenswaardige zetting wordt niet verwacht
grondwaterbescherming	✓	niet gelegen in een grondwaterbeschermingsgebied
natuurbelangen	✓	niet gelegen in een restrictiegebied
archeologie	✓	hoge verwachting archeologische waarden, geen belemmering
verontreinigingen	✓	enkele grond(water)verontreinigingen aanwezig in de omgeving. Verwacht wordt dat deze geen belemmering vormen voor een open bodemenrgiesysteem.
bodemenrgieplan	✓	niet gelegen in bodemenrgieplan
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

Concept

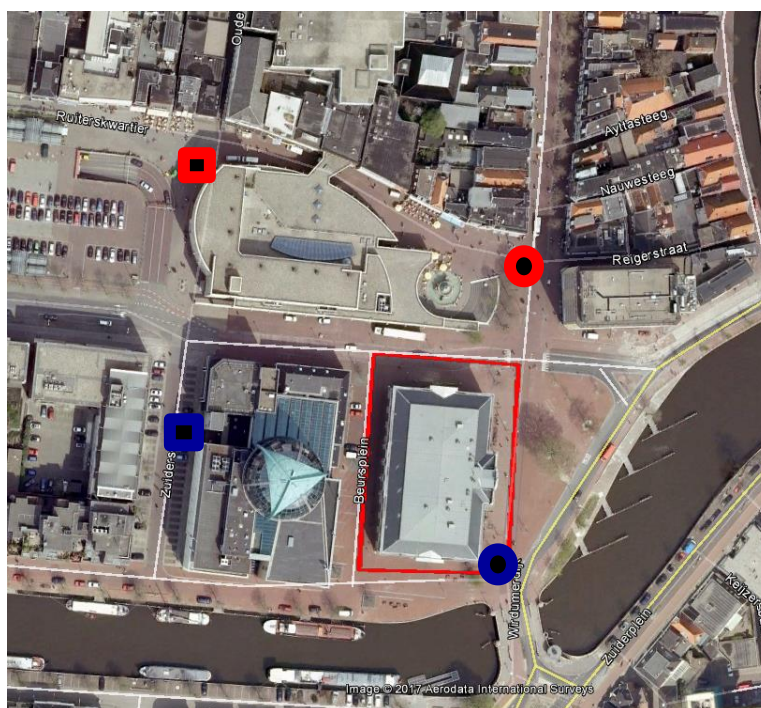
Het beoogde debiet is ca. 30 m³/uur. Dit debiet kan met een monobron of doublet gerealiseerd worden. Het theoretische principe van deze concepten is beschreven in Bijlage 1.

Tabel 3
Eigenschappen WKO
bron(nen) voor de
casus Beursgebouw
Leeuwarden.

Eigenschap	Eenheid	Monobron	Doublet
Maximale boordiepte	m-mv	100	50
Boordiameter	mm	500-600	400-500
Bronafstand	m	n.v.t.	100

In Figuur 7 is een indicatie van de bronlocaties (rondjes) gegeven. Bij een monobron zou bijvoorbeeld de koude bronlocatie gekozen kunnen worden. Of een plek dicht bij de technische ruimte. Aandachtspunt is de afstemming met de bronnen van het Fries Museum (vierkantjes).

Figuur 7
Locaties bestaande
WKO (vierkantjes) en
potentiele WKO
(rondjes). Blauw is
koud, rood is warm.
Bron: Google Maps.



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 Zuider Stadsgracht 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) doorerekend. 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

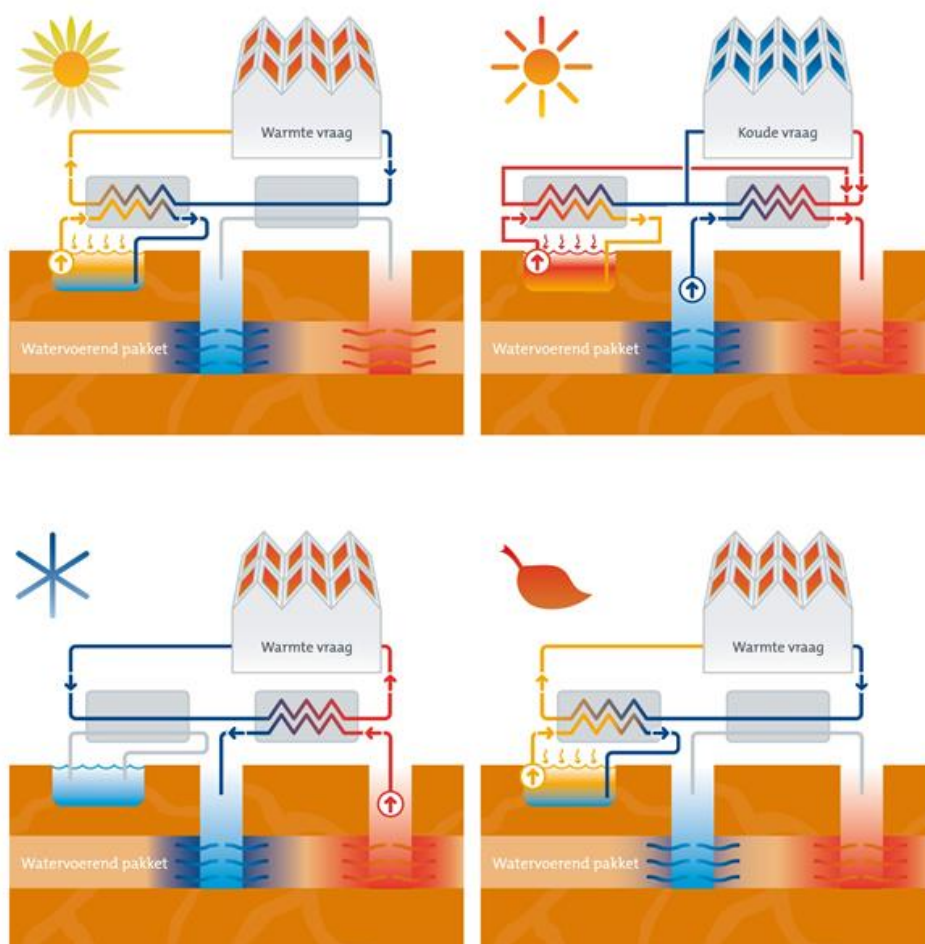
Bij de toepassing van TEO zijn er globaal twee concepten mogelijk: warmte uit oppervlaktewater of koude uit oppervlaktewater (zie Bijlage 1). Afhankelijk van de randvoorwaarden binnen een project bepaald het concept voor een groot deel de financiële, technische en juridische haalbaarheid. Belangrijke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

Het Beursgebouw Leeuwarden kenmerkt zich door een overwegende warmtevraag en een beperkte koelbehoefte. Hierbij is het toepassen van warmte uit oppervlaktewater in combinatie met WKO een voor de hand liggende oplossing (zie Bijlage 1, Figuur 14). 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 gebleken dat er geen gemaal in de directe omgeving aanwezig is, maar dat de Zuider Stadsgracht waarschijnlijk voldoende potentie biedt voor het winnen van warmte voor de locatie. De bodemcapaciteit is voldoende voor het toepassen van WKO (zie paragraaf 3.5). In Figuur 8 is het globale principe van de energiestromen in de verschillende seizoenen weergegeven.

*Figuur 8
Inzet TEO voor de
energievoorziening in
de vier seizoenen.
Met de klok mee
(lente, zomer, herfst,
winter)*



Door in het voorjaar en najaar ook direct warmte te winnen kan optimaal gebruik gemaakt worden van het potentieel van het kanaal. Door de combinatie met WKO kan ook duurzame koeling worden geleverd als comfortkoeling voor het gebouw. De koeling wordt rechtstreeks geleverd door middel van vloerkoeling.

Vanwege het relatief lage debiet wordt gekozen voor een monobron. De monobron is in dit geval een goedkopere variant. Een voordeel is dat er maar één bron geboord hoeft te

worden. Verder kan de bron dicht bij de technische ruimte gerealiseerd worden. Dit beperkt de kosten van het boren en van het distributienetwerk.

Systeemkeuze gebouwinstallatie: monovalent

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

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

In Bijlage 2 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 het Beursgebouw is het de wens om een aardgasloze klimatisering te realiseren. Om die reden wordt als systeemconcept gekozen voor een monovalent opwekkingssysteem. Vanuit duurzaamheidsoverwegingen heeft dit systeem 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 3.3 is een inventarisatie gemaakt van de energie- en vermogensvraag voor warmte en koude van het Beursgebouw. Om een nauwkeurige analyse te maken van het totale energieconcept zijn de uitgangspunten voor warmte geschaald naar een bestaande warmtevraag voor een soortgelijk utiliteitsgebouw 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 9 en Figuur 10, respectievelijk. Een belangrijk uitgangspunt hierbij is dat er nooit warmte en koude tegelijk geleverd wordt.

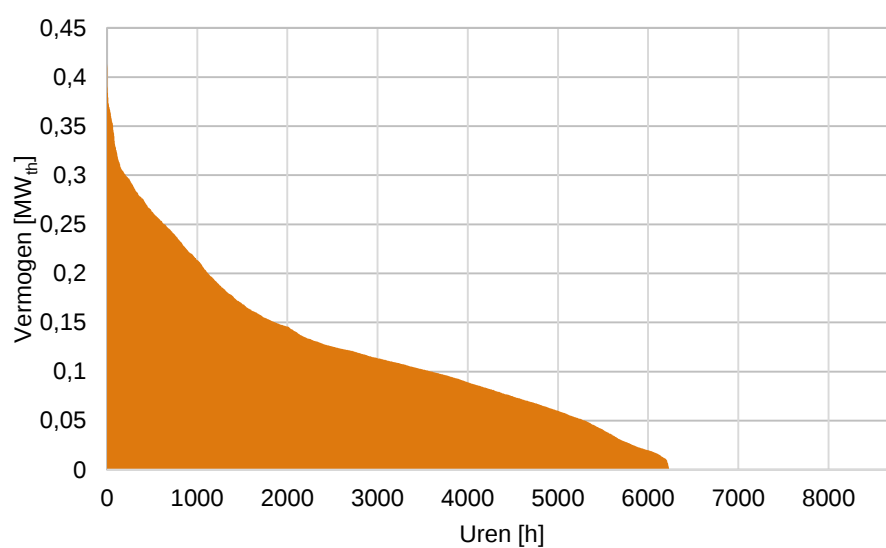
Door TEO toe te passen kan er een energiebalans gecreëerd worden voor het WKO systeem. Dit betekent dat er nagenoeg evenveel warmte geleverd wordt door de warme bron in de winter als dat er warmte geladen wordt in de warme bron tijdens de zomer. Om deze balans te creëren zijn het oppervlaktewater debiet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

Een aantal belangrijke input en output gegevens van het energieconcept zijn te zien in Tabel 4. De maximaal benodigde debieten zijn belangrijk om het systeem te dimensioneren en om zo de investeringskosten te kunnen ramen. In de volgende twee paragrafen worden deze gegevens gebruikt voor het schetsontwerp en de financiële analyse.

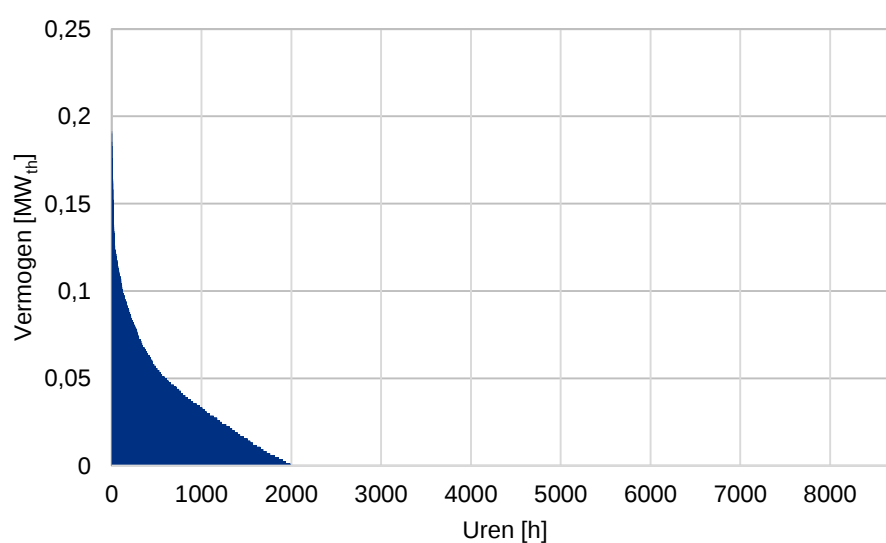
*Tabel 4
Input en output
parameters van het
energetische
concept.*

Input parameters	Eenheid	Waarde
Minimale uitkoeling oppervlaktewater	°C	3,0
Maximale uitkoeling oppervlaktewater	°C	6,0
Minimale lozingstemperatuur	°C	12,6
Minimale onttrekkingstemperatuur	°C	15,6
Infiltratietemperatuur koude	°C	7,0
Aanvoer temperatuur gebouwszijdig	°C	55,0
Output parameters	Eenheid	Waarde
Maximale COP	-	4,2
Seasonal Performance Factor (SPF)	-	3,8
Maximaal debiet oppervlaktewater	m ³ /h	27,2
Maximaal debiet WKO	m ³ /h	29,2
Gemiddelde infiltratietemperatuur warmte	°C	17,0

Figuur 9
Jaarbelastingduurcurve
verwachte warmtevraag
Beursgebouw
Leeuwarden.



Figuur 10
Jaarbelastingduurcurve
verwachte koudevraag
Beursgebouw
Leeuwarden.



4.2 Schetsontwerp

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

- in- en uitlaat oppervlaktewatersysteem (30 m³/h);
- 1 WKO monobron (30 m³/h);
- technische ruimte (warmtepomp, afgifteset, warmtewisselaars);
- distributieleidingen warmte en koude;
- aansluitleidingen ten behoeve van de aan te sluiten panden.

Locatie en invoeging

Ter verduidelijking is het schetsontwerp, die hieronder is beschreven, in Figuur 11 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 Zuider Stadsgracht en de wensen met betrekking tot uitkoeling van de waterloop. In paragraaf 3.4 is aangenomen dat de Zuider Stadsgracht in het slechtste geval stilstaand water is. Met het verwachte onttrekkingsdebiet, de afmetingen van het kanaal, de stroming en het temperatuurverschil tussen onttrekkings- en lozingspunt is een minimale afstand van 90 m berekend tussen onttrekkings- en lozingspunt. Gemiddeld was de stromingsrichting in 2013 van oost naar west. Daarom is het onttrekkingspunt ten westen van de Wirdumerpoortsbrug geplaatst en het lozingspunt ten oosten van deze brug. 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 verkeersroute impliceert de aanwezigheid van openbare grond. De juridische en civieltechnische mogelijkheden en knelpunten voor plaatsen van de distributieleidingen dienen in detail te worden uitgezocht.
- WKO monobron: deze kan dicht bij het Beursgebouw en de technische ruimte komen te liggen. De exacte locatie dient door middel van een effectenstudie te worden vastgelegd. Hierbij dient nauw afgestemd te worden met de gebiedscoördinator, om de bronlocatie op toekomstige ontwikkelingen te kunnen afstemmen. Toegankelijkheid tot de bronput dient niet alleen in realisatie, maar ook in exploitatiefase geborgd te worden.
- Technische ruimte: deze ruimte kan worden ondergebracht in een eigen ruimte. In dit specifieke geval is het wenselijk om de locatie van de technische ruimte en de monobron 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 en bron dicht bij het oppervlaktewater gekozen. In deze fase zal dit geen grote effecten op de business case hebben. De technische ruimte bevat in dit geval de warmtepomp, de afgifteset 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 kunnen. Dit heeft minimale invloed op de kosten van het distributienet. Daarom is die keuze in deze business case achterwege gelaten.

- Distributieleidingen warmte en koude: omdat de bronput dicht bij de technische ruimte wordt gerealiseerd is en er één afnemer van warmte en koude is, is er geen centraal distributienet nodig. De leidingen die getekend zijn vallen onder het oppervlaktewatersysteem en de aansluitleidingen ten behoeve van het gebouw.
- Aansluitleidingen ten behoeve van de aan te sluiten panden: deze lopen van het gebouw direct naar de WKO.

Figuur 11
Schetsontwerp WKO
+ TEO systeem
Beursgebouw
Leeuwarden.



4.3 Impact leefomgeving

De voorzieningen worden deels ondergronds aangelegd (bronnen en leidingen) of in pandig (warmtepomp, afgifteset 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.

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 concept WKO + TEO vergeleken met een referentiesysteem. Het referentiesysteem bestaat uit:

- een gasketel ten behoeve van de warmtevraag;
- een compressiekoelmachine ten behoeve van de koudevraag.

Het is belangrijk om te vermelden dat gebouwzijdige aanpassingen in verband met deze concepten niet zijn meegerekend in de financiële analyse. De investeringskosten (CAPEX), operationele kosten (OPEX) en eventuele subsidies zijn met elkaar vergeleken. Vervolgens is de terugverdientijd van WKO + TEO berekend ten opzichte van het referentiesysteem.

Uitgangspunten financiële analyse

Voor de financiële berekeningen is rekening gehouden met de uitgangspunten gegeven in Tabel 5.

Tabel 5
Uitgangspunten
financiële analyse.

Parameter	Eenheid	Waarde
CAPEX		
Indexering investeringskosten	%	1,8
Project looptijd	jaar	30
Herinvestering gasketel	jaar	16 (100%)
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	-	Liander

In navolgende tabellen zijn de te verwachten kosten inzichtelijk gemaakt. Alle genoemde bedragen zijn exclusief BTW en gebaseerd op prijspeil 2017.

Investeringskosten

In Tabel 6 zijn de eenmalige investeringskosten voor WKO + TEO in beeld gebracht. De investeringskosten van het referentiesysteem zijn gegeven in Tabel 7.

Tabel 6
Investeringskosten
realisatie WKO +
TEO.

Investeringskosten	Eenheid	Kosten
Bodemenergie voorzieningen	€	127.000
Oppervlaktewater voorzieningen	€	102.000
Distributie voorzieningen	€	33.000
Warmtepomp	€	106.000
Ontwerp, advies en vergunningen (10%)	€	37.000
Onvoorzien (20%)	€	74.000
Totaal	€	475.000

Tabel 7
Investeringskosten
realisatie
referentiesysteem.

Investeringskosten	Eenheid	Kosten
Gasketel	€	43.000
Koelmachine	€	43.000
Ontwerp en advies (10%)	€	9.000
Onvoorzien (20%)	€	18.000
Totaal	€	111.000

Eenmalige inkomsten

In Tabel 8 zijn de eenmalige inkomsten in beeld gebracht. Deze regeling vanuit het ministerie van Economische Zaken is bedoeld om duurzaam ondernemen te stimuleren. De investeringssubsidie duurzame energie (ISDE) is in dit geval niet van toepassing. De ISDE is van toepassing op warmtepompen tot 70 kW.

Tabel 8
Eenmalige
inkomsten.

Inkomsten	Eenheid	Opbrengst
Energie-investeringsaftrek (EIA) 13,5%	€	45.000

Tarieven

In Tabel 9 zijn de tarieven voor elektra en gas weergegeven die gebruikt zijn in de huidige business case. Het tarief voor elektra is een geïntegreerd tarief die de RUG hanteert (zie paragraaf 3.3). Het tarief voor gas wordt toegepast op het referentiesysteem. De vaste

kosten zijn gebaseerd op de tarieven van netbeheerder Liander. De variabele kosten zijn gebaseerd op een landelijk gemiddelde.

Tabel 9
Tarieven elektra en gas.

Tarieven	Eenheid	Tarief
Elektra		
Vaste + variabele kosten	€/kWh	0,10
Gas		
Vaste kosten	€/jaar	1.820
Variabele kosten	€/kWh	0,05

Jaarlijkse exploitatiekosten

In Tabel 10 zijn de jaarlijkse exploitatiekosten weergegeven voor het WKO + TEO systeem.

De jaarlijkse exploitatiekosten voor het referentiesysteem zijn weergegeven in Tabel 11.

Tabel 10
Jaarlijkse exploitatiekosten WKO + TEO systeem.

Exploitatiekosten	Eenheid	Kosten
Inkoop		
Elektriciteit (vast en variabel)	€	28.000
Onderhoud en beheer		
Opwekking (WKO en EOW)	€	10.000
Distributienet	€	1.000
Warmtepompen	€	5.000
Totaal	€	43.000

Tabel 11
Jaarlijkse exploitatiekosten referentiesysteem.

Exploitatiekosten	Eenheid	Kosten
Inkoop		
Elektriciteit (vast en variabel)	€	16.000
Gas (vast en variabel)	€	46.000
Onderhoud en beheer		
Gasketels	€	1.700
Koelmachine	€	1.800
Totaal	€	65.000

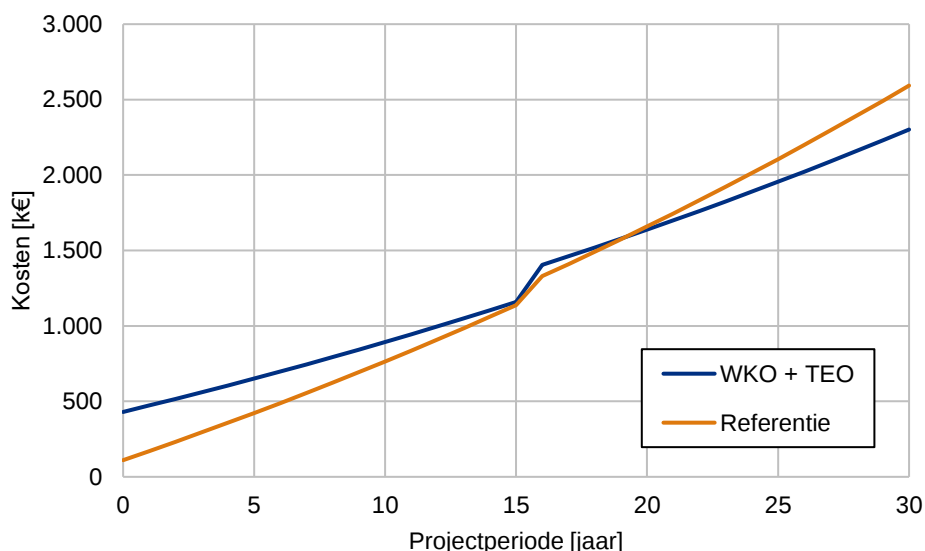
Resultaten

In Figuur 12 zijn de kosten en baten van het WKO + TEO systeem uitgezet tegen het referentiesysteem over een projectperiode van 30 jaar. 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 5.

De terugverdientijd van een WKO + TEO systeem is ongeveer 19 jaar ten opzichte van het referentiesysteem. Het is ook te zien dat de extra investeringskosten ten opzichte van het referentiesysteem na 15 jaar bijna terugverdiend zijn. Maar door de extra herinvesteringen duurt het iets langer voordat alle investeringskosten volledig zijn terugverdiend.

Figuur 12
Kosten-batenanalyse
WKO + TEO
systeem (blauw) en
referentiesysteem
(oranje).



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 referentiesysteem na 19 jaar. Bij het referentiesysteem wordt warmte geleverd door middel van een gasketel en koude door middel van een compressiekoelmachine. Zoals aangegeven in paragraaf 3.1 zijn de energetische uitgangspunten geschaald naar een vergelijkbaar bestaand gebouw, 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. Indien investeringen voor WKO + TEO op een later tijdstip plaatsvinden, zal de terugverdientijd korter worden.

4.5 Duurzaamheid

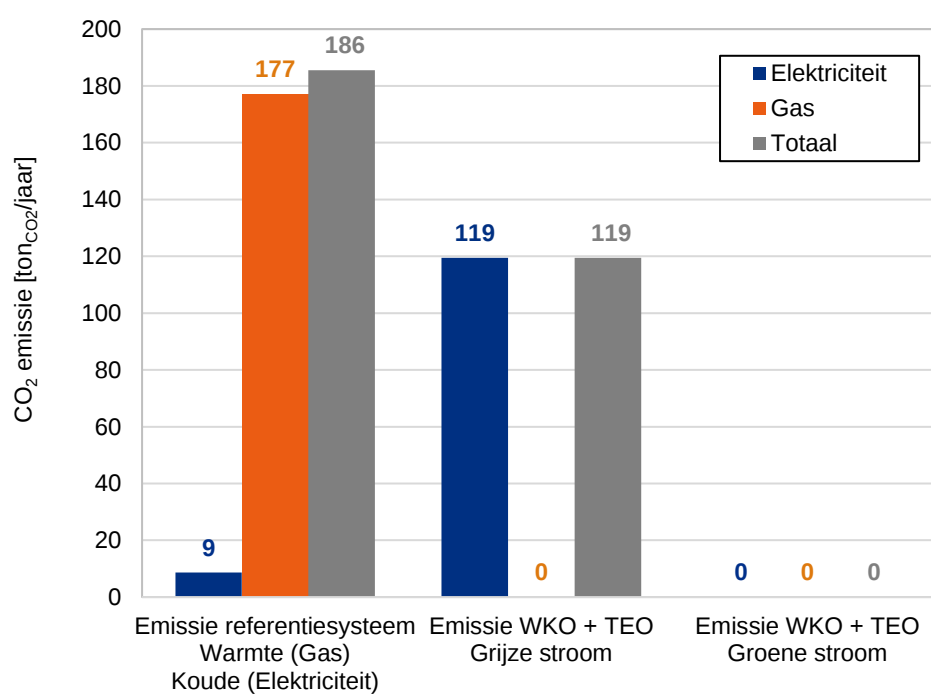
Rendement en emissie

In Tabel 12 is een overzicht gegeven van enkele prestatiefactoren op het gebied van duurzaamheid. 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 van het referentiesysteem is in dit geval volledig afhankelijk van de warmte emissie van de compressiekoelmachine. De CO₂ emissie van WKO + TEO ligt tussen de 0 – 119 ton/jaar. Dit is gebaseerd op de emissiefactoren in de Uniforme Maatlat voor 2020. De minimale uitstoot van 0 kan bereikt worden door volledige groene elektriciteitsopwekking. De maximale uitstoot gaat uit van grijze elektriciteitsopwekking (RVO, 2016). De CO₂ emissies zijn grafisch weergegeven in Figuur 13. Tot slot zijn de NO_x en de SO₂ emissies gegeven (CE Delft, 2015). Ook bij deze emissies is het bereik weergegeven tussen volledig groen opgewekte stroom en volledig grijs opgewekte stroom. Het is opvallend dat bij het referentiesysteem de SO₂ uitstoot significant lager is dan bij het WKO + TEO systeem. Dit komt omdat de uitstoot van SO₂ die gepaard gaat met elektriciteitsopwekking significant hoger ligt dan bij de verbranding van gas.

Tabel 12
Prestatiefactoren
WKO + TEO
systeem en
referentiesysteem.

Prestatiefactor	WKO + TEO	Referentie	Besparing/reductie
Equivalent opwekkingsrendement (EOR)	1,57	0,95	-
Warmte emissie (hittestress) [GJ _{th}]	0	360	360
CO ₂ emissie [ton _{CO2} /jaar]	0 – 119	186	67 – 186
NO _x emissie [kg/jaar]	0 – 197	214	17 – 214
SO ₂ emissie [kg/jaar]	0 – 108	9	-99 – 9

Figuur 13
CO₂ emissies van
referentiesysteem en
WKO + TEO
systeem.



5

Conclusies en aanbevelingen

5.1 Technische en energetische haalbaarheid



Uitgangspunten en opwekkingspotentieel

Voor het voormalig Beursgebouw in Leeuwarden zijn de energetische uitgangspunten bepaald (zie paragraaf 3.3 en 4.1). Daarnaast zijn de bodem- en oppervlaktewaterkenmerken uitgewerkt om het thermisch potentieel en de technische haalbaarheid te bepalen (paragrafen 3.4 en 3.5). De resultaten zijn kort samengevat in Tabel 13.

Tabel 13
Kern uitgangspunten,
technische
haalbaarheid en
thermisch potentieel.

Parameter	Waarde
Kern uitgangspunten	
Gebouw	Utiliteitsgebouw universiteit 5300 m ² BVO
Warmtevraag	790 MWh _{th} (2.844 GJ _{th}) per jaar
Koudevraag	80 MWh _{th} (288 GJ _{th}) per jaar
Doelstellingen gemeente Utrecht	Aardgasloos
Technische haalbaarheid	
Capaciteit bodem: benodigd	570 MWh _{th} , 29,2 m ³ /h 1 monobron
Capaciteit kanaal: benodigd	530 MWh _{th} , 27,2 m ³ /h, 90 meter kanaal

Er kan worden geconcludeerd dat op de onderzochte locatie (Beursgebouw Leeuwarden en de Zuider Stadsgracht) 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 is een systeemconcept geselecteerd en uitgewerkt. De overwegingen bij het concept zijn toegelicht in paragraaf 4.1. In grote lijnen betreft het een monovalent systeem met warmte uit oppervlaktewater in combinatie met WKO. 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 Zuider Stadsgracht.

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 (30 m³/h);
- 1 WKO monobron (30 m³/h);
- technische ruimte (warmtepomp, afgifteset, warmtewisselaars);
- distributieleidingen warmte en koude;
- aansluitleidingen ten behoeve van de aan te sluiten panden.

In paragraaf 4.2 staan de onderdelen en inpassingsmogelijkheden benoemd. In Figuur 11 **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.** is de inpassing van de onderdelen grafisch weergegeven. Aandachtspunt is onder meer de inpassing van de technische ruimte, monobron en distributienet. 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 in het gebouw.



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 inpandig). 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 Zuider Stadsgracht. Dit zorgt voor stroming en temperatuurverlaging in de gracht, wat de waterkwaliteit ten goede komt.



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 1,57 verwacht. De vergelijking is gemaakt met een conventioneel systeem (gasketel en compressiekoelmachine) die voor een vergelijkbare warmte- en koudevraag een EOR van 0,95 heeft. Door duurzaam te koelen kan er 360 GJ_{th} warmte emissie aan de atmosfeer voorkomen worden.



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 stroom. In dat geval kan de CO₂ uitstoot tot 0 gereduceerd worden. In het slechtste geval (100% grijze stroom) is de CO₂ uitstoot met 119 ton/jaar alsnog significant lager dan een conventioneel systeem (gasketel en compressiekoelmachine) met 186 ton/jaar.

5.3 Financiële haalbaarheid



De investeringskosten, inkomsten en jaarlijkse exploitatiekosten van een WKO + TEO systeem zijn vergeleken met die van een conventioneel systeem (gasketel en compressiekoelmachine). De terugverdientijd van een WKO + TEO systeem is ongeveer 19 jaar. De terugverdientijd is afhankelijk van meerdere factoren. Belangrijke parameters die het resultaat kunnen beïnvloeden zijn de energiekosten voor gas en elektriciteit en herinvesteringskosten.

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 renovatie van het Beursgebouw zijn al in een vergevorderd stadium. Hierbij is het toepassen van een warmtepomp in combinatie met WKO al onderdeel van het ontwerp. De integratie van TEO in dit ontwerp heeft een significante meerwaarde 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 op korte termijn 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 verdiepfingsfase plaats vinden waarin de kaders voor het project scherper worden uitgewerkt.

Referenties

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-geoordeelde stroom' inclusief upstream-emissies. Verkregen op 4 juli, 2017 van http://www.ce.nl/publicatie/emissiekentallen_elektriciteit/1599.

KNMI (2015). KNMI klimaatscenario's voor Nederland '14. Verkregen op 29 juni, 2017 van http://www.klimaatscenario's.nl/brochures/images/KNMI14_Klimaatscenario's_folder_2015.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-%202021%20september%202016.pdf>.

Afkortingen

BC	business case
BVO	bruto-vloeroppervlakte
CAPEX	capital expenditures
EOR	equivalent opwekkingsrendement
ISDE	investeringsubsidie duurzame energie
LSC	Lake Source Cooling
NCW	Netto Contante Waarde
OPEX	operating expenditures
SO	schetsontwerp
TEO	thermische energie uit oppervlaktewater
WKO	warmte- en koudeopslag

Bijlage 1

Conceptbeschrijvingen TEO/Smart polder

6.1 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 kansenkaart (zie onderstaande link) voor de identificatie van kansrijke locaties voor het toepassen van TEO.

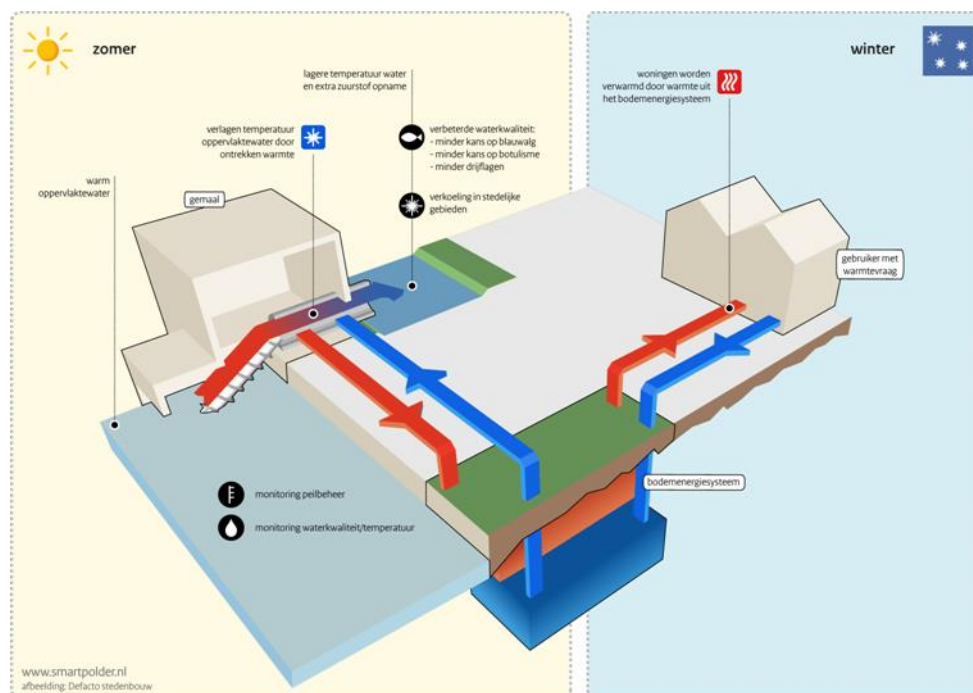
<https://www.hdsr.nl/werk/water-energiebron>

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 14). 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 14
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.

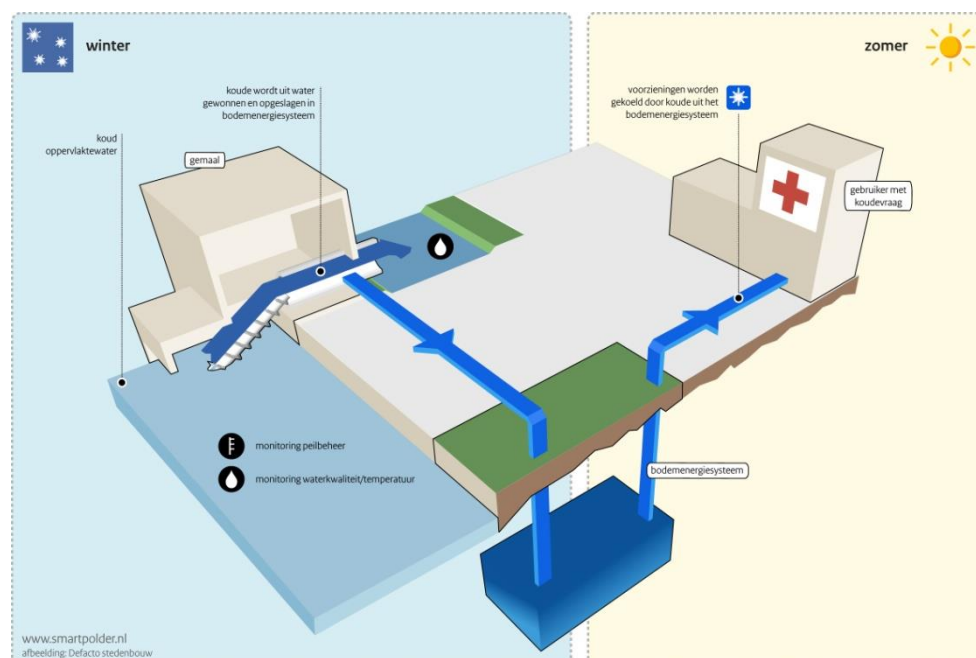
Dit zal niet alle problemen direct wegnemen, maar er zijn wel veel positieve effecten te benoemen te weten:

- 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 15). 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 temperatuursverandering al een zeer groot koude vermogen beschikbaar en dat maakt thermische winning op gemalen erg interessant.

*Figuur 15
Gemaal als koude-
centrale in
combinatie met
WKO.*

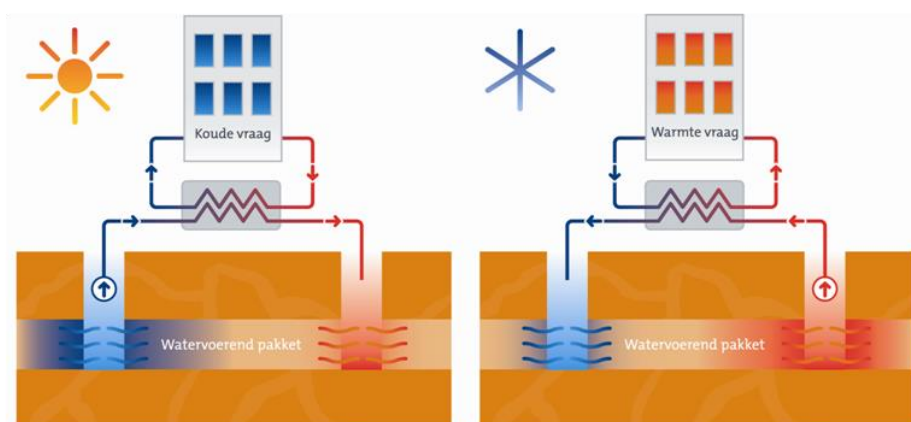


6.2 Principe Warmte- en Koude Opslag (WKO)

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.

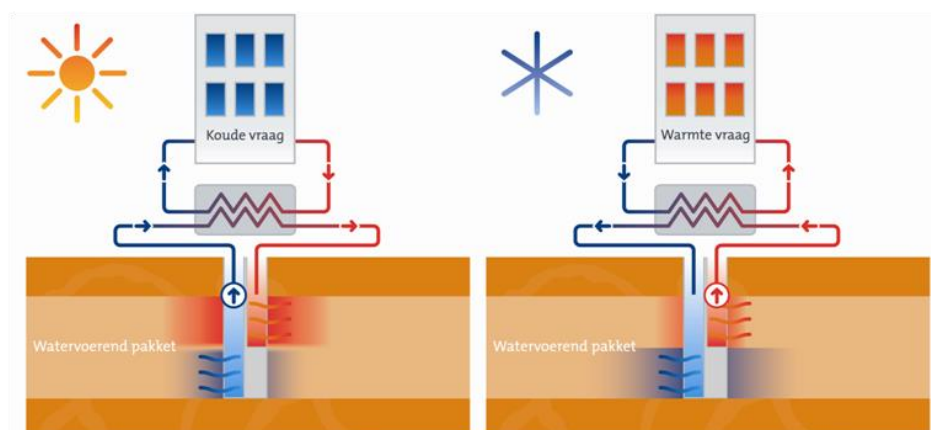
Toepassing van dit principe kan op meerdere manieren. Bijvoorbeeld met een aparte warme en koude bron (een doublet) in hetzelfde watervoerende pakket. Hierbij worden beide bronnen met voldoende onderlinge afstand gerealiseerd om negatieve invloed te beperken. Dit is schematisch weergegeven in Figuur 16.

Figuur 16
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 17.

Figuur 17
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.

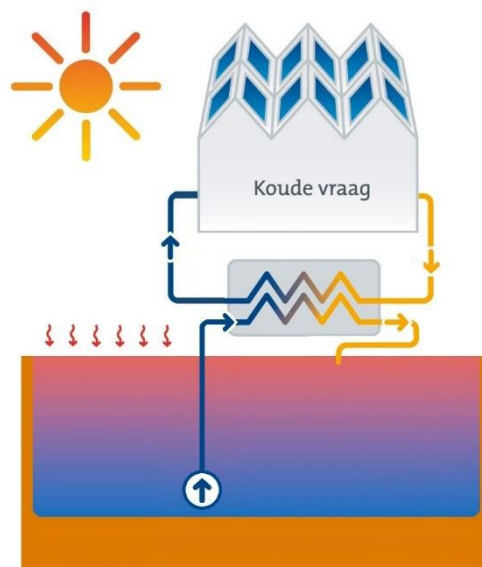
6.3 Koude uit diepe plassen

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 18 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 18
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-watgang 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.

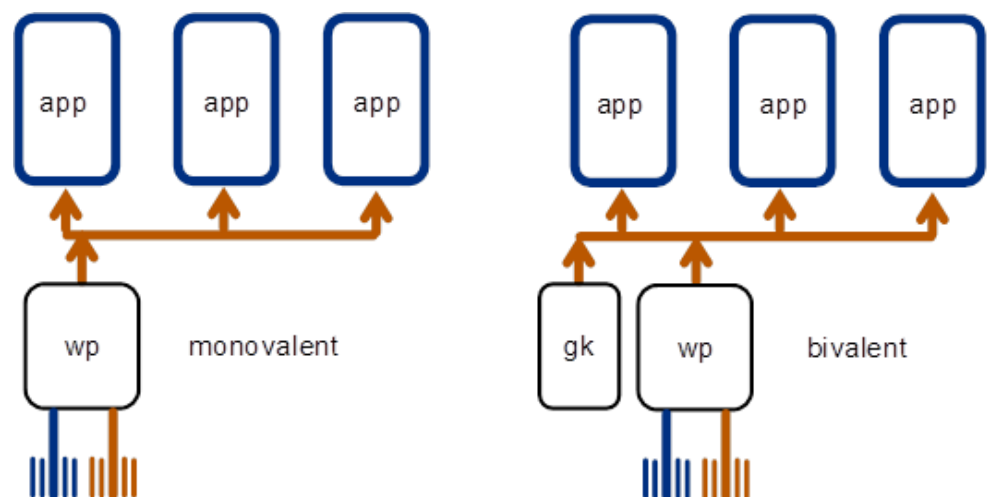
Gebouwinstallatie

Voor de gebouwssystemen kan gekozen worden voor monovalente of bivalente systemen. Beide systemen zijn schematisch weergegeven in Figuur 19. Een korte toelichting aan de hand van warmtelevering volgt hieronder:

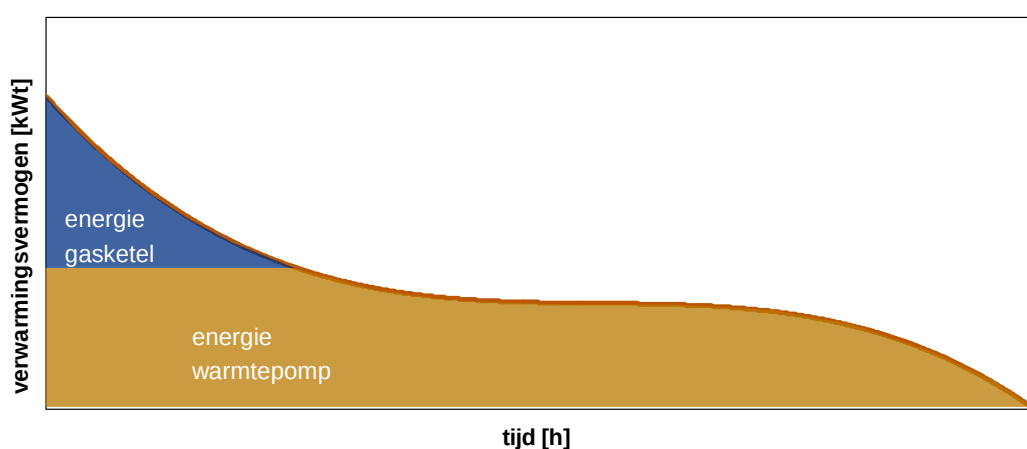
- | | |
|-------------|---|
| Monovalent: | Appartementen (app) hebben een warmtevraag (ruimteverwarming en tapwaterbereiding). Bij een monovalent systeem wordt één omzetter gebruikt die alle warmte levert. In het voorbeeld (Figuur 19) is dit een warmtepomp (wp) in combinatie met energieopslagsysteem. |
| 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 20 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 19
Monovalent vs.
Bivalent systeem
(schematisch).



Figuur 20
Jaarbelastingduur-
curve.



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.