



techniplan adviseurs bv

RAADGEVEND INGENIEURSBUREAU

Project : **Potentiele bijdrage TEO Merwedekanaal aan energieconcept
Beurskwartier**

Onderwerp : **Onderzoek naar de technische, economische en organisatorische
haalbaarheid van TEO Merwedekanaal voor het Beurskwartier**

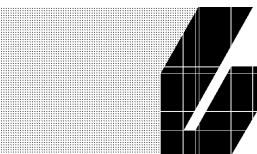
Documentcode : 3092MIDX1-E-RAR001E

Status : Definitief

Rotterdam, 20 december 2018

initialen + paraaf

RM	
----	---



3092MIDX1-E-RAR001E
20 december 2018
blad 2 van 33

Colofon

Rik Molenaar
Projectleider en auteur

T: +31(0)10 456 23 11
M: +31(0)68 320 75 79
E: rik.molenaar@techniplan.nl

Techniplan Adviseurs BV
Watermanweg 102
3067 GG Rotterdam

Redouan Arriani
Auteur

T: +31(0)10 456 23 11
M: +31(0)61 045 41 21
E: redouan.arriani@techniplan.nl

Techniplan Adviseurs BV
Watermanweg 102
3067 GG Rotterdam

Dit project is uitgevoerd in opdracht van de partijen van het Living Lab Utrecht Slimme en Gezonde stad, in het kader van de werklijn 'Klimaatneutrale en klimaatbestendige stad' (zie: www.slimmeengezondestad.nl/Pilotsteden/Utrecht). De partijen van het Living Lab bestaan uit: het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, de gemeente Utrecht en de provincie Utrecht.

Geerte van der Steen
Voorzitter begeleidingscommissie

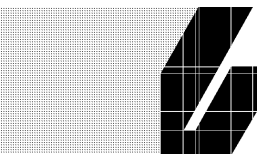
T: +31(0)30 286 40 57
M: +31(0)63 989 75 46
E: g.van.der.steen@utrecht.nl

Gemeente Utrecht
Postbus 16200
3500 CE Utrecht

Brenda Vervoorn
Opdrachtcoördinator

T: -
M: +31(0)61 535 95 96
E: brenda.vervoorn@minienm.nl

Ministerie van I en W
Postbus 20901
2500 EX Den Haag



3092MIDX1-E-RAR001E
20 december 2018
blad 3 van 33

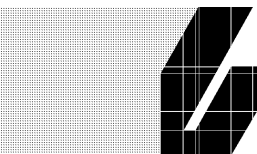
Evelyn Hijink
Opdrachtcoördinator en lid begeleidingscommissie

T: -
M: +31(0)65 335 29 06
E: evelyn.hijink@minienm.nl

Ministerie van I en W
Postbus 20901
2500 EX Den Haag

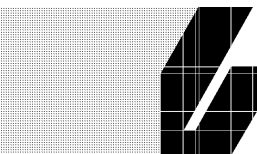
Leden begeleidingscommissie:

Naam	Organisatie
Cees van der Vliet	Gemeente Utrecht
Marit Linckens	Gemeente Utrecht
Marlies de Nijs	Gemeente Utrecht
Jan Frank Mars	IenW/RWS
Manon van Gastel	Provincie Utrecht
Dries Schuwer	Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden



Inhoudsopgave

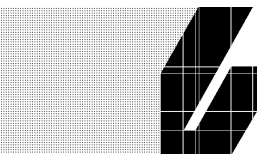
1.	INLEIDING.....	6
1.1.	Context.....	6
2.	UITGANGSPUNTEN	8
2.1.	Merwedekanaal.....	8
2.2.	Omvang.....	8
2.3.	Energievraagbepaling	9
2.4.	Energietarieven.....	10
2.5.	CO ₂ -emissie.....	10
3.	TECHNISCHE HAALBAARHEID TEO	11
3.1.	Energieconcepten	11
3.1.1.	Referentiesysteem	11
3.1.2.	Concept 1: 'Clusters' (drie individuele energiecentrales met gezamenlijke TEO)	12
3.1.3.	Concept 2a: 'LT-ringleiding 100%' (ringleiding 'bronwarmte en -koude, 100% vermogen)	13
3.1.4.	Concept 2b: 'LT-ringleiding 50%' (ringleiding 'bronwarmte en -koude, 50% vermogen)	14
3.2.	Energetische haalbaarheid	14
3.2.1.	Energiebalans bodemenergiesysteem (BES)	14
3.2.2.	Potentie Merwedekanaal.....	15
3.3.	Invloed op het Merwedekanaal	16
3.4.	Beïnvloeding Merwedekanaalzones	17
3.5.	Ruimtelijke inpassing	18
3.5.1.	Concept 1: 'Clusters' (drie individuele energiecentrales met gezamenlijke TEO)	19
3.5.2.	Concept 2a: 'LT-ringleiding 100%'	20
3.5.3.	Concept 2b: 'LT-ringleiding 50%'	21
3.6.	Vergelijking concepten	22
4.	ECONOMISCHE HAALBAARHEID TEO	23
4.1.	Investeringskosten	23
4.1.1.	Referentie	23
4.1.2.	Concept 1 'Clusters'	23
4.1.3.	Concept 2a 'LT-ringleiding 100%'	23
4.1.4.	Concept 2b 'LT-ringleiding 50%'	24
4.2.	Exploitatielasten.....	25



4.3.	Resultaten economische haalbaarheid	25
4.4.	Fasering.....	26
4.5.	Regeneratiealternatief	27
5.	ORGANISATORISCHE HAALBAARHEID TEO	28
5.1.	Maatschappelijke baten	29
5.1.1.	Hittestress en waterkwaliteit	29
5.1.2.	Beschikbaar dakoppervlak.....	29
5.1.3.	CO ₂ -besparing.....	30
5.1.4.	Kosten voor de eindgebruiker.....	30
6.	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	31
6.1.	Conclusies.....	31
6.2.	Aanbevelingen.....	32
7.	BIBLIOGRAFIE	33

Bijlagen

1. Validatie model berekening oppervlaktewater
2. Temperatuurgrafieken oppervlaktewater van de 3 concepten
3. Blokschema's & investeringskostenraming concepten
4. Schematische weergave van de 3 concepten
5. Ruimtelijke inpassing van de 3 concepten



1. **Inleiding**

1.1. **Context**

De partijen van het 'Living Lab Utrecht Slimme en Gezonde Stad (SGS)' richten zich op het blijvend verbeteren van de stedelijke leefomgevingskwaliteit van de gemeente Utrecht. De partijen bestaan uit de ministeries van Infrastructuur en Waterstaat en Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit en de gemeente en provincie Utrecht. Dit doen zij door in dit living lab innovaties in beleid en best practices centraal te stellen en belemmeringen in regelgeving op te sporen en door de mogelijkheid te bieden om innovatieve concepten en technieken toe te passen. Het Living Lab Utrecht SGS kent vier werklijnen (zie <https://www.slimmeengezondestad.nl/Pilotsteden/Utrecht/default.aspx>).

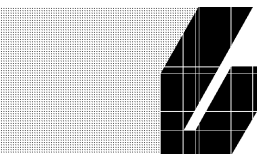
1. Klimaatneutrale en klimaatbestendige stad;
2. Schone en duurzame mobiliteit;
3. Circulaire economie;
4. Ontwerp en inrichting: uitnodigen tot gezond gedrag in de stad.

Het project "Potentiele bijdrage TEO Merwedekanaal aan energieconcept Beurskwartier" is uitgevoerd in het kader van de werklijn 'Klimaatneutrale en klimaatbestendige stad'.

De stad Utrecht zal de komende jaren groeien en deze groei vindt grotendeels binnenstedelijk plaats. Het is de ambitie van de betrokken overheden om deze groei op een duurzame en gezonde manier te laten plaatsvinden. In eerder onderzoek binnen de werklijn 'Klimaatneutrale en klimaatbestendige stad' is naar voren gekomen dat thermische energie uit oppervlaktewater (TEO) een belangrijke rol kan spelen bij het verbinden van de klimaatopgave met de energieopgave. In het bijzonder bij de verstedelijking van het Beurskwartier en de Merwedekanaalzone, waarbij energieneutraliteit wordt nagestreefd.

In dit onderzoek staan de volgende onderzoeksvragen centraal:

- Hoe kan TEO uit het Merwedekanaal, inclusief het geplande nieuwe kanaal in het Beurskwartier, bijdragen aan het duurzame energieconcept van het Beurskwartier, ook m.b.t. de financiële haalbaarheid?
- Wat is de invloed op de restcapaciteit van het Merwedekanaal voor andere Utrechtse verstedelijkingsopgaven als TEO in combinatie met WKO in het Beurskwartier wordt ingezet?

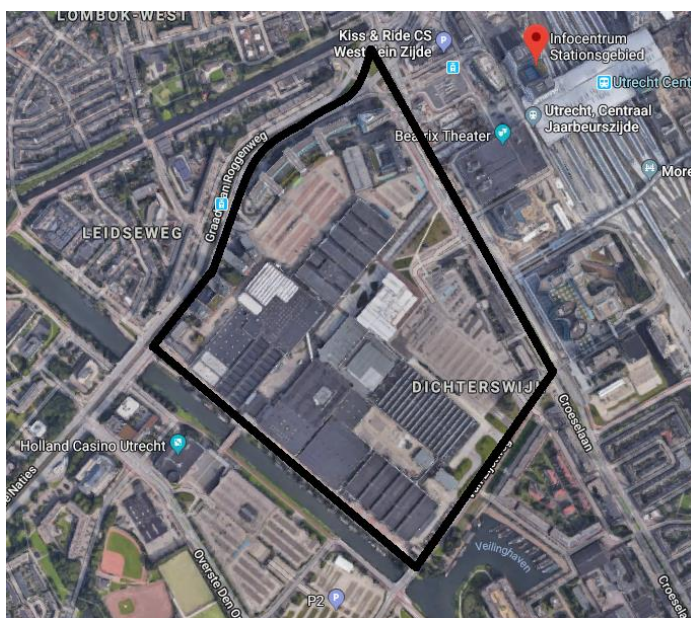


3092MIDX1-E-RAR001E

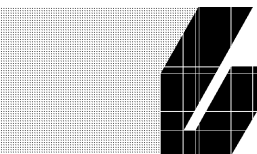
20 december 2018

blad 7 van 33

In opdracht van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat zijn bovenstaande vragen beantwoord in een onderzoek naar de technische, economische en organisatorische haalbaarheid van TEO voor het Beurskwartier onderzocht (inclusief een analyse van de randvoorwaarden en risico's). Deze verkenning vormt een eerste stap in het concreet maken van de ambitie van een energieneutraal Beurskwartier en moet de opdrachtgever de beslisinformatie geven waarmee kan worden bepaald in welke mate TEO een onderdeel zal uitmaken van het energieconcept voor het Beurskwartier.



Figuur 1: Afbakening Beurskwartier



2. Uitgangspunten

2.1. **Merwedekanaal**

Het Merwedekanaal is gekwalificeerd als een 'M7b' kanaal met een totale lengte van 35 km. Het Beurskwartier grenst aan circa 600 meter van het kanaal. Het Merwedekanaal is 30-35 meter breed en 3-4 meter diep. Naast het Merwedekanaal is het de bedoeling dat er een groenblauwe verbinding door het Beurskwartier komt. Deze wordt ook gebruikt voor TEO. Het uitgangspunt is dat het water stilstaat (worst case), omdat uit eerder onderzoek van Deltares is gebleken dat het water van het Merwedekanaal bijna 80% van de tijd stil staat (conform: Deltares 2017 'Potentie thermische energie Merwedekanaal').

De thermische capaciteit van het Merwedekanaal is berekend volgens een warmtebalansmodel, welke is gebaseerd op het model van E. Aparicio Medrano, waarbij de volgende punten zijn aangehouden (In bijlage 1 is de validatie van het model beschreven):

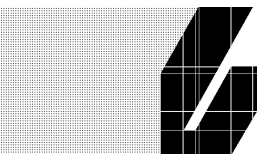
- Lengte: 600 meter / Breedte: 30 meter / Diepte: 3 meter
- Stroming: 0 m/s, Temperatuurverschil in TEO-installatie: 8K
- Oppervlakte groenblauwe verbinding: 5.600 m²
- Klimaatjaar: 2017

2.2. **Omvang**

Het Beurskwartier krijgt na de geplande gebiedsontwikkeling een hoogstedelijk, gemengd programma. Dat wil zeggen veel wonen, ruimte voor werken en horeca en creatieve bedrijvigheid in de commerciële plinten. In de studie is gerekend met de aantallen en bruto vloeroppervlak (BVO) zoals opgenomen in *Tabel 1*.

Tabel 1: Omvang gebiedsontwikkeling Beurskwartier

Functie	Aantal	Omvang (m² BVO)
Woning	3.617	296.000
Utiliteit (Kantoren)	10	57.500
Overig (Horeca, winkels, hotels etc.)	35	54.000
Totaal	3.662	407.500



2.3. Energievraagbepaling

Voor de energievraagbepaling van het gehele beurskwartier wordt gebruik gemaakt van de bovenstaande oppervlaktes en de BENG¹ kentallen voor woningen, kantoren en overige voorzieningen uit de uniforme maatlat 4.2. De kentallen geven een geschat energieverbruik per m²/BVO. Het ontbreekt echter aan kentallen voor vermogens. De huidige gebouwen hebben ongeveer 1000 equivalente vollasturen² (vermogen = verbruik / 1000 → kW = kWh / h). De verwachting is dat dit met de BENG eisen zal afnemen naar 750 vollasturen, met uitzondering van koeling voor utiliteit en overige functies. Met name voor deze functies is het koelvermogen bij 750 vollasturen te laag, waardoor als uitgangspunt voor die functies 300 vollasturen is aangehouden.

Tabel 2: BENG kentallen: Energievraag per m²

BENG 750 vollasturen	LT-Warmte [W/m ²]	HT-warmte [W/m ²]	HT-Koude [W/m ²]
Woning	13	16	11
Utiliteit (kantoren)	17	-	38
Overig (horeca, winkels, hotels etc.)	17	12	38

Tabel 3: Vermogensvraag

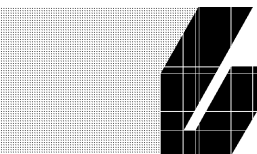
Vermogensvraag	LT-Warmte [kW]	HT-warmte [kW]	HT-Koude [kW]
Woning	3.750	4.850	3.160
Utiliteit (kantoren)	950	-	2.170
Overig (horeca, winkels, hotels etc.)	890	650	2.030
Totale vermogensvraag	5.590	5.500	7.360

Tabel 4: Energievraag

Energievraag	LT-Warmte [MWh]	HT-warmte [MWh]	HT-Koude [MWh]
Woning	2.810	3.640	2.370
Utiliteit (kantoren)	710	-	650
Overig (horeca, winkels, hotels etc.)	670	490	610
Totale energievraag	4.190	4.130	3.630

¹ Vanaf 2020 moet alle nieuwbouw voldoen aan de eisen voor bijna energieneutrale gebouwen (BENG).

² Het aantal vollasturen kan worden gezien als de tijdsduur waarin de energiebron effectief op vol vermogen energie heeft geproduceerd.



De vermogens en energiehoeveelheden zijn naar verhouding van oppervlaktes verdeeld over de bouwkavels. Voor de clustervariant (Concept 1) zijn bovenstaande LT-warmte en HT-warmte vermogens en energieverbruiken met 10% verhoogt om het distributieverlies van de transportleidingen na de energieopwekking te compenseren.

2.4. **Energietarieven**

Energietarieven voor de referentie en de verschillende concepten zijn (prijsspeil 2018):

Referentie (individuele stadsverwarming en koelmachines)

- Elektriciteit: € 85 per MWh verbruik, € 40,00 per kW vastrecht;
- Stadsverwarming utiliteit: € 20 per GJ verbruik, € 12,20 per kW vastrecht;
- Stadsverwarming per woning: € 19,83 per GJ verbruik, € 414,21 per aansluiting vastrecht

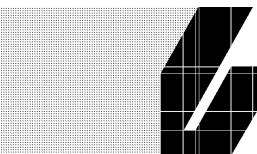
Concepten 1, 2a en 2b

- Elektriciteit: € 75 per MWh verbruik, € 35,00 per kW vastrecht (grotere aansluitingen);
- Stadsverwarming utiliteit: € 20 per GJ verbruik, € 12,20 per kW vastrecht;
- Beheerkosten: € 55,-/jaar/aansluiting (circa € 200.000,-/jaar) o.a. voor facturatie.

2.5. **CO₂-emissie**

Voor het berekenen van de CO₂-emissie is uitgegaan van de volgende factoren:

- Stadsverwarming: 50,1 kg CO₂ / GJ
(87,7 kg CO₂ / GJ *conform NEN 7120 referentie*) / rendement SV-centrale 2020: 175%
- Elektriciteit: 89,1 kg CO₂ / GJ
(61,3 kg CO₂ / GJ *primaire conform NEN 7120 referentie*) / rendement E-centrale 2020: 68,8%



3. Technische haalbaarheid TEO

Om energie uit oppervlaktewater te benutten, worden een aantal bestaande technologieën gekoppeld. Uit de bron (het oppervlaktewater) wordt met een warmtewisselaar warmte of koude onttrokken. Via een netwerk wordt de warmte of koude getransporteerd en vervolgens ofwel direct afgenomen, of opgeslagen in een warmte-koude-opslag in de bodem (WKO). Uit de WKO kan vraag gestuurd koude of warmte worden opgepompt en getransporteerd naar de afnemer. Bij de afnemer verhoogt (in geval van warmtevraag) een warmtepomp de temperatuur van de drager (water) tot het gewenste niveau. TEO hoeft niet noodzakelijkerwijs in combinatie met een WKO te worden uitgevoerd. In enkele bestaande projecten wordt de koude uit een diepe plas of stromend water direct benut voor koeling.

WKO's, warmtewisselaars, warmtepompen en warmtenetwerken zijn bewezen technieken. De technieken zijn technologisch al ver ontwikkeld en van grootschalige technologische innovatie is geen sprake. Daarentegen is de koppeling van de systemen wel vernieuwend. Door TEO wordt het oppervlaktewatersysteem verbonden aan het energiesysteem. Niet alleen zorgt dit voor een duurzame oplossing, ook kan (in bepaalde omstandigheden) warmte-opname de waterkwaliteit verbeteren of hittestress reduceren.

3.1. Energieconcepten

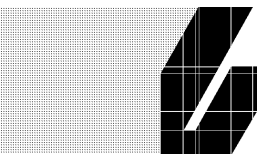
Om de geplande gebiedsontwikkeling van het Beurskwartier te voorzien van duurzame energie kunnen verschillende energieconcepten gerealiseerd worden. Allereerst kan er onderscheid gemaakt worden tussen individuele en collectieve concepten.

Op basis van de beschikbare bodemcapaciteit en bronposities kan geconcludeerd worden dat individuele duurzame energieconcepten niet mogelijk zijn voor het Beurskwartier. Er kunnen simpelweg niet genoeg bronnen gerealiseerd worden om alle gebouwen te voorzien van een eigen warmte- en koudeopslag. In het gebied van het Beurskwartier kunnen namelijk maximaal 6 bronnen gerealiseerd worden, voor individuele concepten zijn circa 15 tot 20 brondoubletten nodig.

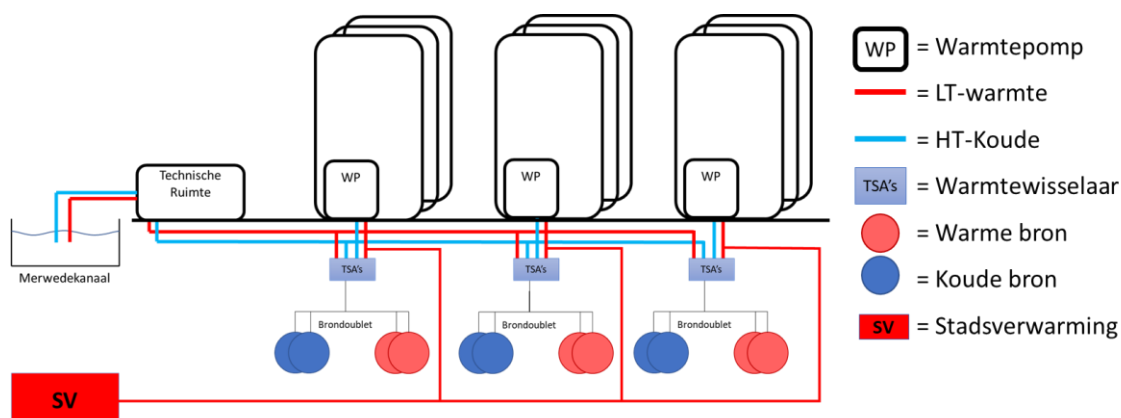
Collectieve systemen zijn daarnaast nog te onderscheiden in centrale en decentrale systemen.

3.1.1. Referentiesysteem

Om een goede vergelijking te maken tussen de verschillende concepten en de alternatieven is er voor gekozen om de concepten te vergelijken met een referentiesysteem. Voor de referentie wordt uitgegaan van een warmteopwekking welke volledig wordt verzorgd door middel van stadsverwarming met individuele aansluitingen. Voor de opwekking van koude wordt uitgegaan van luchtgekoelde compressiekoelmachines per utiliteitsafnemer en per woongebouw.



3.1.2. Concept 1: 'Clusters' (drie individuele energiecentrales met gezamenlijke TEO)



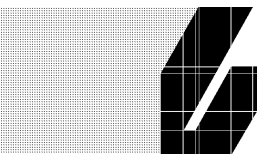
Figuur 2: Schematische weergave concept 1

Concept 1 bestaat uit drie individuele WKO-centrales die een cluster van gebouwen van energie voorzien. Deze drie energiecentrales zijn onderling verbonden door een ringleiding waarbij energie uit oppervlaktewater kan worden onttrokken. In de ondergrond van het Beurskwartier is nog ruimte voor zes brondoubletten, waarmee drie clusters gerealiseerd kunnen worden die elk aangesloten zijn op twee brondoubletten. De gebouwen kunnen dan aangesloten worden op één van de drie energiecentrales.

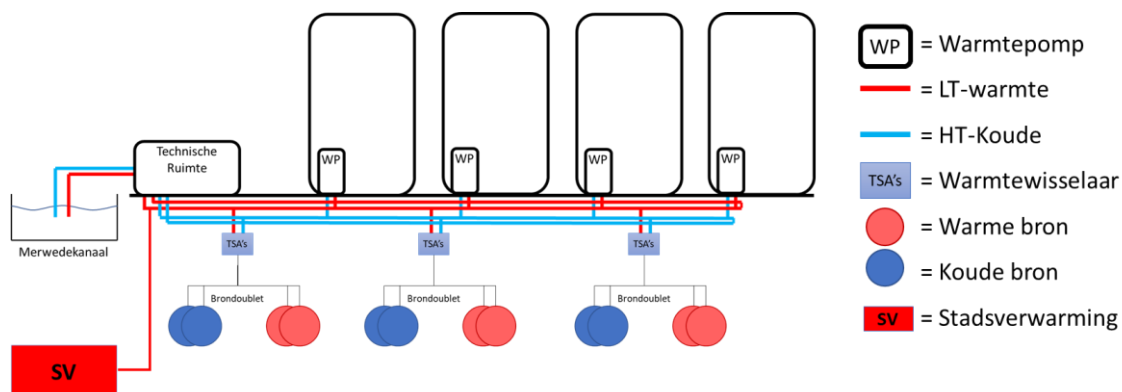
De zes brondoubletten hebben niet genoeg verwarmingsvermogen om alle gebouwen van voldoende warmte te voorzien, waardoor de clusters ook aangesloten moeten worden op een secundaire warmteopwekker. Om het vermogenstekort op te vangen is er van uitgegaan dat de retourleiding van de stadsverwarming verder wordt gekoeld.

Eén van de voordelen van geclusterde ringleidingen is dat de bouw gefaseerd kan plaatsvinden.

Daartegenover staat dat de investeringskosten hoger zijn, o.a. omdat de gelijktijdigheid bij een decentraal systeem lager is dan bij een centraal systeem en er zodoende meer vermogen opgesteld moet worden. De clusters dienen elk een eigen aansluiting te hebben op het Merwedekanaal voor regeneratie door middel van oppervlaktewater. Ten slotte is het risico groter op knelpunten in de ondergrond (vergunningsruimte), gezien de grootte van de energievraag ten opzichte van de beschikbare ruimte.



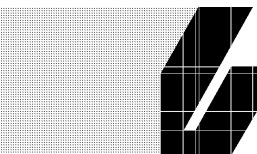
3.1.3. Concept 2a: 'LT-ringleiding 100%' (ringleiding 'bronwarmte en -koude, 100% vermogen')



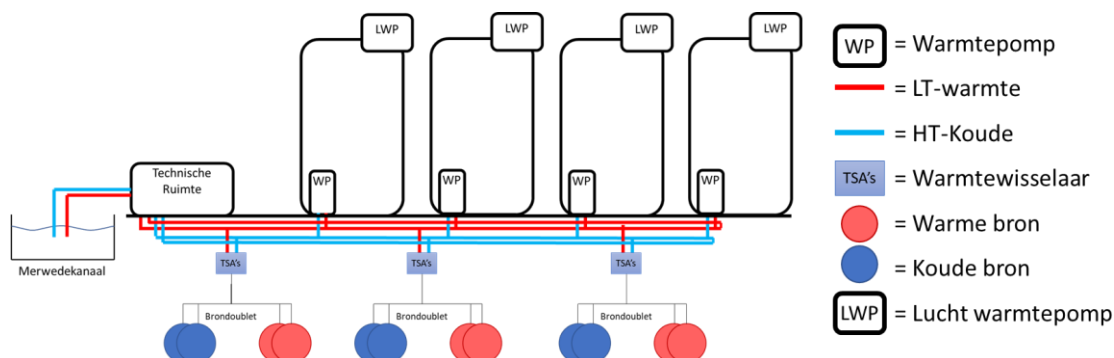
Figuur 3: Schematische weergave concept 2a

Een centraal collectief systeem bestaat uit één ringleiding waarop de zes brondoubletten op worden aangesloten. De ringleiding loopt door het Beurskwartier heen en zodoende kunnen de gebouwen hun warmte en koude uit de ringleiding halen. De ringleiding is door middel van één aansluiting aangesloten op het Merwedekanaal voor regeneratie.

Het voordeel van de ringleiding is de hogere gelijktijdigheid, waardoor er minder vermogen, ten opzichte van het clusterconcept, opgesteld hoeft te worden (circa – 15%). Echter is er bij dit concept nog steeds een tekort aan verwarmingsvermogen, waardoor de ringleiding ook aangesloten dient te worden op de retourleiding van de stadsverwarming. Echter is het voordeel bij een collectief systeem dat er maar 1 aansluiting nodig is op de stadsverwarming, ten opzichte van drie voor een geclusterd systeem. Dat vertaalt zich eveneens in lagere investeringskosten.



3.1.4. Concept 2b: 'LT-ringleiding 50%' (ringleiding 'bronwarmte en -koude, 50% vermogen)



Figuur 4: Schematische weergave concept 2b

Het derde concept is in principe hetzelfde als het tweede concept, echter verschilt dit concept in de vermogenslevering. Dit concept voorziet alleen in 50% van de totale verwarmingsvermogen. De overige 50% van het verwarmingsvermogen wordt geacht dat deze door de gebouwontwikkelaars wordt opgesteld. Dit kan gebeuren in de vorm van lucht warmtepompen.

Het voordeel hiervan is dat de investeringskosten lager zullen uitvallen ten opzichte van het collectieve concept waarbij wordt voorzien in de totale vermogensvraag. Dit komt onder andere door het kleinere opgestelde verwarmingsvermogen, kleinere leidingen en het niet hoeven aan te sluiten op een secundaire warmteopwekker.

3.2. Energetische haalbaarheid

3.2.1. Energiebalans bodemenergiesysteem (BES)

Voor het beurskwartier zijn de energetische uitgangspunten bepaald (zie paragraaf 2.3). Daarnaast is bekend hoeveel brondoubletten en met welk debiet gerealiseerd kunnen worden. Met deze gegevens kan bepaald worden wat de thermische onbalans in de bodem zal zijn. Deze gegevens staan gepresenteerd in *Tabel 5*.

Tabel 5: Onbalans van de bronnen

	Concept 1	Concept 2a	Concept 2b
Warmtelevering uit de bodem [MWh]	5.650	5.280	4.680
Koudelevering uit de bodem [MWh]	3.180	2.950	2.980
Onbalans [MWh]	2.470	2.330	1.700

Zoals in de tabel is weergegeven ontstaat er bij de drie concepten een warmtetekort in de bodem. Deze onbalans dient hersteld te worden door warmte te laden in de bron (regeneratie). Deze



warmte wordt ingevangen door de TEO-installatie. De dimensionering van de TEO-installatie is afhankelijk van hoeveel uur er per jaar warmte ingeladen kan worden.

Uit het warmtebalansmodel is berekend dat er jaarlijks 2.800 uur warmte onttrokken kan worden uit het Merwedekanaal. Voor koeling is aangenomen dat er jaarlijks 300 tot 750 vollasturen zijn. Daarmee komt het aantal uur dat er warmte geladen kan worden in de bron op meer dan 2.000 uur. Om zekerheidsredenen is er voor gekozen om uit te gaan dat er 1.000 uur per jaar geregenereerd kan worden. In de volgende *Tabel 6* zijn de vermogens en debieten van de TEO-installatie weergegeven.

Tabel 6: Vermogens TEO-installatie

	Concept 1	Concept 2a	Concept 2b
Onbalans [MWh]	2.470	2.330	1.700
Vollasturen [uur]	1000	1000	1000
Thermisch vermogen [kW]	2.470	2.330	1.700
Debiet [m ³ /h]	265	250	185

3.2.2. Potentie Merwedekanaal

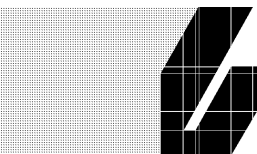
De potentie van het Merwedekanaal is onderzocht met behulp van ons warmtebalansmodel. Dit warmtebalansmodel is gevalideerd met het zelfkoelingsgetal en met meetgegevens van het Lekkanaal (zie Bijlage 1).

Het zelfkoelingsgetal wordt gebruikt om te bepalen hoe snel een warmte- of koudelozing zal terugkeren naar de evenwichtstemperatuur van het oppervlaktewater. In ons warmtebalansmodel wordt het zelfkoelingsgetal ieder gebruikt om het maximaal vermogen te berekenen dat het kanaal kan leveren. Het zelfkoelingsgetal is afhankelijk van de meteorologische condities (zoals windsnelheid en luchttemperatuur) en is dus verschillend per situatie. In de volgende tabel zijn de minimale, gemiddelde en maximale zelfkoelingsgetal voor het Merwedekanaal gepresenteerd.

Tabel 7: Zelfkoelingsgetal Merwedekanaal

	Zelfkoelingsgetal [W/m ²]		
	Minimaal	Gemiddeld	Maximaal
Literatuur	15	30	45
Berekend (per uur)			
- Concept 1	19	32	65
- Concept 2a	19	32	65
- Concept 2b	19	32	65

Uit de resultaten is te concluderen dat het berekende zelfkoelingsgetal van het Merwedekanaal iets hoger is dan de getallen die in de literatuur genoemd worden.



Daarnaast is er gekeken of er genoeg warmte uit het kanaal onttrokken kan worden om de bronnen te regenereren. Voor de berekening van de potentie van het kanaal is er van uitgegaan van een constante warmteonttrekking als het water warmer is dan 19°C. De resultaten zijn als volgt:

Tabel 8: Potentiele energie-onttrekking Merwedekanaal

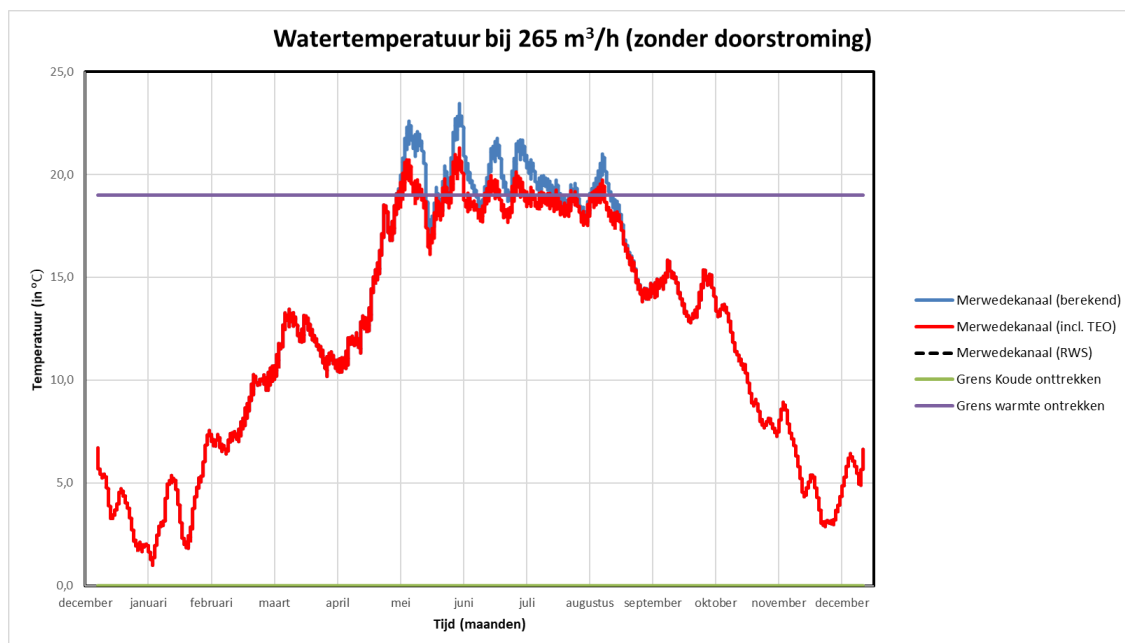
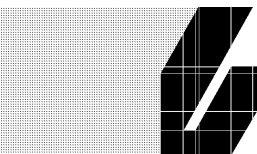
	Concept 1	Concept 2a	Concept 2b
Benodigd [MWh]	2.470	2.330	1.700
Zonder doorstroming			
Potentie warmte [MWh]	2.060	2.010	1.730
Saldo [MWh]	-410	-320	30
Met doorstroming (0,2 m³/s)			
Potentie warmte [MWh]	2.830	2.730	2.210
Saldo [MWh]	360	400	510

Te zien is dat zonder doorstroming de potentie van het Merwedekanaal onvoldoende is voor de benodigde energievraag. Aangezien het warmtebalansmodel ook iets betere resultaten geeft dan kentallen uit de literatuur is een zekere mate van doorstroming van het Merwedekanaal noodzakelijk. De berekeningsresultaten van 0,2 m³/s doorstroming per seconde laten zien dat de potentie warmte dan ruim voldoende is. Tijdens de tussenbespreking met de begeleidingscommissie heeft de vertegenwoordiger van Hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden aangegeven dat er hoe dan ook een doorstroming is van 0,2 tot 0,5 m³/s in verband met lekkende sluizen.

3.3. Invloed op het Merwedekanaal

Nu de debieten en de benodigde warmte bekend is, kan berekend worden wat de invloed op de watertemperatuur van het Merwedekanaal is. De invloed van TEO op het Merwedekanaal kan met behulp van ons warmtebalansmodel worden benaderd. Op de onderstaande afbeeldingen is gepresenteerd wat het effect is op het Merwedekanaal, bij maximale warmteonttrekking:

- Debiet : 265 m³/h
- Temperatuurverschil: 8K



Figuur 5: Temperatuurgrafiek Merwedekanaal bij 265 m³/h, zonder doorstroming

In bijlage 2 zijn de temperatuurgrafieken weergegeven voor alle concepten, met en zonder doorstroming.

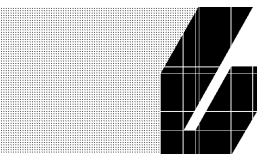
3.4. Beïnvloeding Merwedekanaalzones

Naast het Buerskwartier zijn er ook plannen om de Merwedekanaalzones (MWK-zones) te voorzien van een TEO-installatie welke ook invloed heeft op het Merwedekanaal. In de onderstaande tabel is de verwachte onbalans in de ondergrond van de Merwedekanaalzones weergegeven.

Tabel 9: Vermogens TEO-installatie voor MWK-zones

	Merwedekanaalzones 4, 5 en 6
Indicatieve onbalans [MWh]	7.000
Vollasturen [uren]	1000
Thermisch vermogen [kW]	7.000
Debiet [m³/h]	725

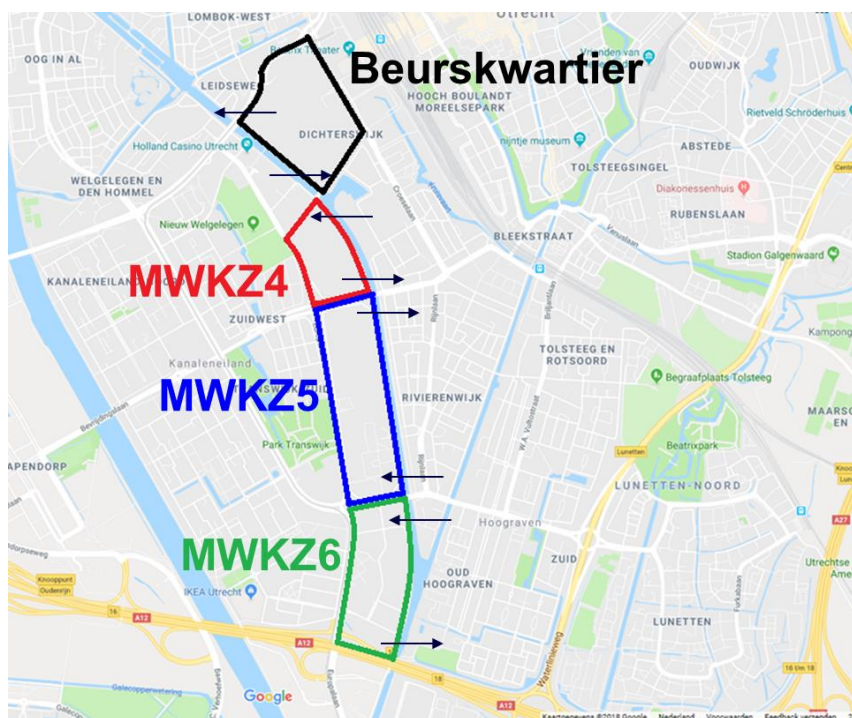
Om de beïnvloeding van de TEO-systemen zo veel mogelijk in te perken, moeten de in- en uitnamepunten van de verschillende systemen zo veel mogelijk uit elkaar geplaatst worden. Op de volgende afbeelding is een indicatief voorstel gedaan voor de in- en uitnamepunten van de TEO-systemen.



3092MIDX1-E-RAR001E

20 december 2018

blad 18 van 33



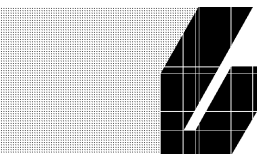
Figuur 6: Voorstel voor in- en uitnamepunten TEO.

3.5.

Ruimtelijke inpassing

Uit eerder onderzoek van Buro Bron en IF Technology is geconcludeerd dat er nog maximaal 6 brondoubletten gerealiseerd kunnen worden in het eerste watervoerende pakket. De mogelijke locaties zijn bepaald door eerder onderzoek van IF Technology. In de volgende paragrafen zal verder ingegaan worden over de ruimtelijke inpassing van de verschillende concepten. De volgende onderwerpen komen aan bod:

- In- en uitnamepunt van de TEO-installatie;
- De locatie van de ringleiding(en);
- De locatie en eigenschappen van de bovengrondse technische ruimten.

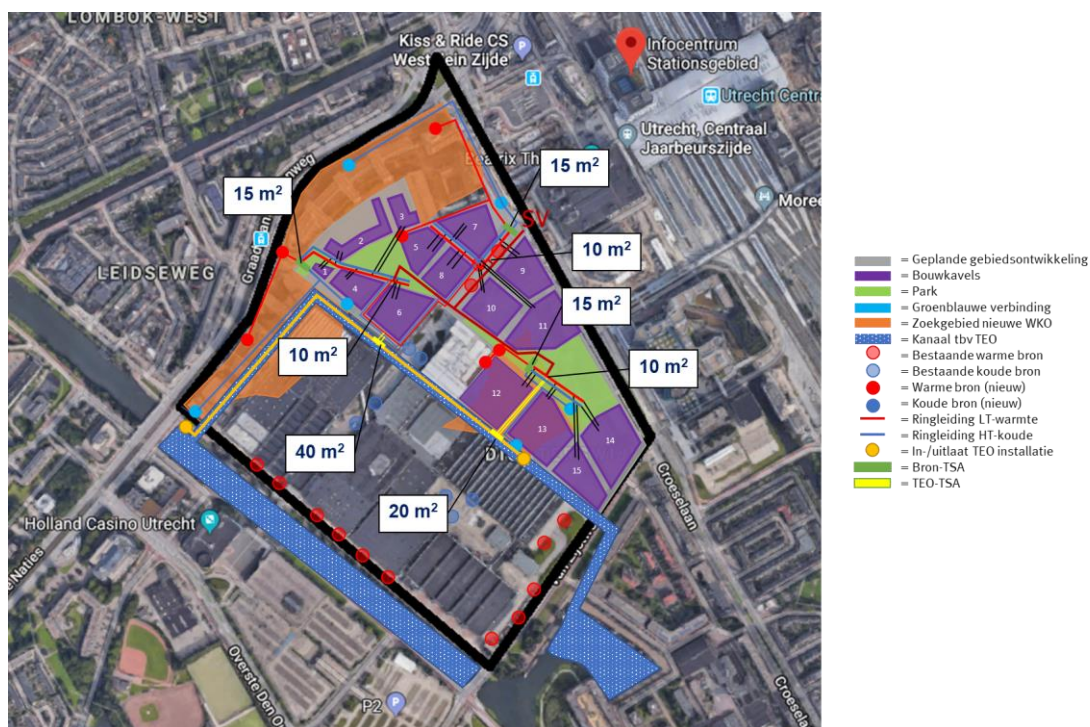


3092MIDX1-E-RAR001E

20 december 2018

blad 19 van 33

3.5.1. Concept 1: 'Clusters' (drie individuele energiecentrales met gezamenlijke TEO)



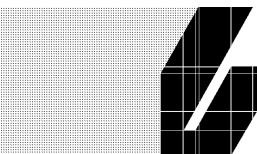
Figuur 7: Concept 1 - Schets positionering bronnen, leidingen en centrale techniekruimten

Concept 1 bestaat uit drie individuele WKO-centrales die een cluster van gebouwen van energie voorzien. Deze drie energiecentrales zijn onderling verbonden door een ringleiding waarbij energie uit oppervlaktewater kan worden onttrokken. Elke WKO-centrale heeft een eigen ringleiding, er zijn twee aansluitingen op de TEO-leiding nodig: Cluster 1 (met kavels 5 en 7 t/m 11) en 2 (met kavels 1 t/m 4 en 6) op dezelfde aansluiting, Cluster 3 (met kavels 12 t/m 15) op een aparte aansluiting. Daarnaast heeft elke Cluster ook een aansluiting nodig op 2 brondoubletten om de eigen ringleiding van warmte en koude te voorzien.

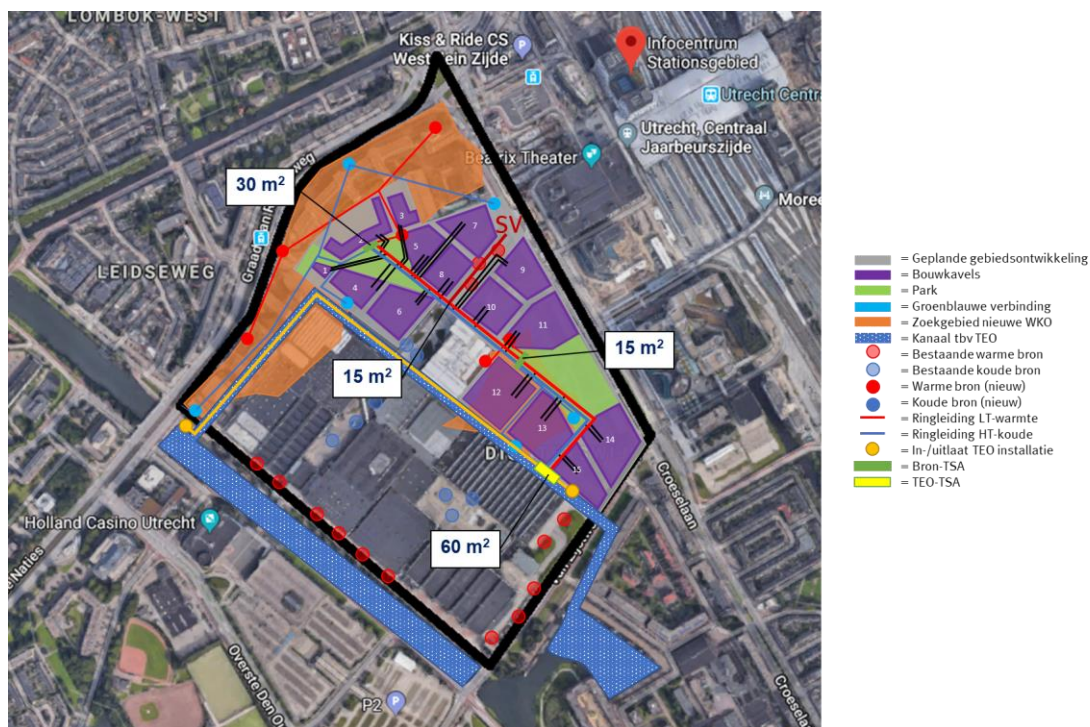
In de onderstaande tabel staan de benodigde oppervlaktes per bovengrondse technische ruimte weergegeven.

Tabel 10: Ruimtelijke inpassing concept 1 'Clusters'

	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3	Totaal
Warmtepompen, etc.	excl.	excl.	excl.	excl.
Aansluiting TEO	20 m ²	20 m ²	20 m ²	60 m ²
Aansluiting bronnen	15 m ²	15 m ²	15 m ²	45 m ²
Aansluiting stadsverwarming	10 m ²	10 m ²	10 m ²	30 m ²
Totaal	45 m ²	45 m ²	45 m ²	135 m ²



3.5.2. Concept 2a: 'LT-ringleiding 100%'

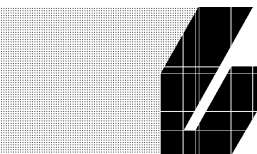


Figuur 8: Concept 2a- Schets positionering bronnen, leidingen en centrale techniekruimten

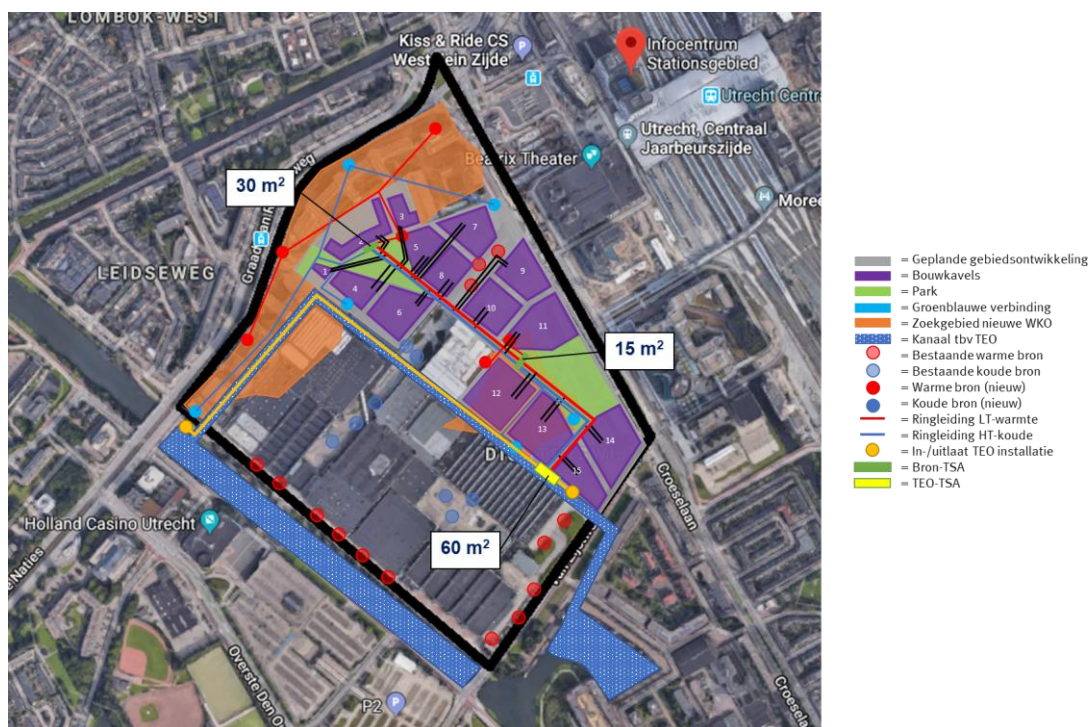
Concept 2a bestaat uit één ringleiding waarop de zes brondoubletten op worden aangesloten. De ringleiding loopt door het Beurskwartier heen en zodoende kunnen de gebouwen hun warmte en koude uit de ringleiding halen. De ringleiding is door middel van één aansluiting aangesloten op het Merwedekanaal voor regeneratie.

Tabel 11: Ruimtelijke inpassing concept 2a 'LT-ring 100%'

	Concept 2a
Warmtepompen, etc.	excl.
Aansluiting TEO	60 m ²
Aansluiting bronnen	45 m ²
Aansluiting stadsverwarming	15 m ²
Totaal	120 m ²



3.5.3. Concept 2b: 'LT-ringleiding 50%'

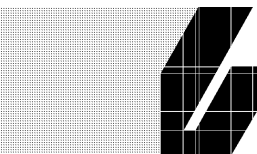


Figuur 9: Concept 2b - Schets positionering bronnen, leidingen en centrale techniekruimten

Concept 2b is gelijk aan concept 2a met uitzondering van het maximaal vermogen dat aan de gebouwen geleverd kan worden. Dit is 50% van het gevraagde maximale vermogen waardoor de gebouwen zelf de andere 50% moeten opstellen, in dit geval is gerekend met luchtwarmtepompen/-koelmachines. Hierdoor kan de bronleiding kleiner gedimensioneerd worden.

Tabel 12: Ruimtelijke inpassing concept 2b

	Concept 2b
Warmtepompen, etc.	excl.
Aansluiting TEO	60 m ²
Aansluiting bronnen	45 m ²
Aansluiting stadsverwarming	n.v.t.
Totaal	105 m ²



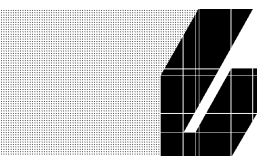
3.6. Vergelijking concepten

In onderstaande tabel zijn de resultaten van de vergelijking van de verschillende concepten samengevat.

Tabel 13: Vergelijkingsoverzicht concepten

Item	Referentie SV + CKM	Concept 1 3 centrales	Concept 2a ringleiding 100%	Concept 2b ringleiding 50%
Aansluitvermogen	100%	110%	100%	100%
Energie	100%	110%	100%	100%
Invloed op Merwedekanaal ³	-	-2,53 °C	-2,50 °C	-2,05°C
Ruimtelijke inpassing		135 m ²	120 m ²	105 m ²

³ De invloed op het Merwedekanaal is gekwantificeerd middels de maximale gemiddelde temperatuursverandering die optreedt in het kanaal, indien er geen doorstroming is. Uitgangspunt hierbij is dat het om de gemiddelde temperatuur van het Merwedekanaal gaat. Ter plaatse van de uitnamepunt van de TEO-installatie zal het temperatuurverschil ten opzichte van de evenwichtstemperatuur 8 °C zijn. Dit water vermengt. Concept 1 scoort het beste wat betreft de invloed op het kanaal, omdat concept 1 een kleinere onbalans in de bodem zal hebben, waardoor er minder warmte uit het kanaal onttrokken hoeft te worden.



4. Economische haalbaarheid TEO

4.1. Investeringskosten

Voor het referentiesysteem en de duurzame concepten zijn ramingen (zie bijlage 3) van de investeringskosten opgesteld voor de opwekking van CV-warmte, koude en (eventueel) HT-warmte ten behoeve van warm tapwater bereiding. EIA-, en SDE+ subsidie zijn beide meegenomen in de raming, indien van toepassing.

Om de concepten goed te vergelijken met de referentiesituatie zijn in dit vergelijk de aanvullende kosten voor warmtepompen meegenomen. Deze kosten behoren niet tot de investeringskosten van de energieopwekking, echter kan er zonder deze kosten geen goede vergelijking gemaakt worden met stadsverwarming. Bouwkundige kosten zijn in alle gevallen niet meegenomen.

4.1.1. Referentie

Voor de stadsverwarming en luchtgekoelde koelmachines bestaan de kosten uit:

- Aansluitkosten voor stadsverwarming (per appartement € 4.200,-);
- Luchtgekoelde koelmachines;
- Elektrotechnische installaties, exclusief kosten voor transformator zijn niet meegenomen (vallen onder gebouwinstallaties);
- Bouwkundige kosten, regeltechniek en stichtingskosten.

4.1.2. Concept 1 'Clusters'

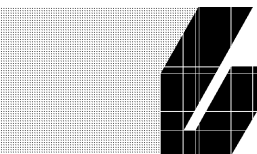
Voor het concept bestaan de investeringskosten uit de volgende componenten:

- Aansluiting op retour van stadsverwarming;
- Realiseren bronneninstallatie t.b.v. de warmte- en koudeopwekking inclusief vergunningskosten, etc.;
- Realiseren ringleiding, inclusief montage, toebehoren, hulpmateriaal etc.;
- Distributiesysteem en afleversets per gebouw inclusief energiemeters;
- TEO installatie, bestaande uit:
 - * In- en uitnamepunt
 - * Leiding rivierwater in de grond
 - * TEO skid
- Elektrotechnische installaties, exclusief kosten voor transformator zijn niet meegenomen (vallen onder gebouwinstallaties);
- Regeltechniek en stichtingskosten.

4.1.3. Concept 2a 'LT-ringleiding 100%'

Voor het collectieve concept met 100% van de vermogensvraag bestaan de investeringskosten uit de volgende componenten:

- Aansluiting op retour van stadsverwarming;



- Realiseren bronneninstallatie t.b.v. de warmte- en koudeopwekking inclusief vergunningskosten, etc.;
- Realiseren ringleiding, inclusief montage, toebehoren, hulpmateriaal etc.;
- Distributiesysteem en afleversets per gebouw inclusief energiemeters;
- TEO installatie, bestaande uit:
 - * In- en uitnamepunt
 - * Leiding rivierwater in de grond
 - * TEO skid
- Elektrotechnische installaties, exclusief kosten voor transformator zijn niet meegenomen (vallen onder gebouwinstallaties);
- Regeltechniek en stichtingskosten

4.1.4. Concept 2b 'LT-ringleiding 50%'

Voor het concept 2b bestaan de investeringskosten uit de volgende componenten:

- Realiseren bronneninstallatie t.b.v. de warmte- en koudeopwekking inclusief vergunningskosten, etc.;
- Realiseren ringleiding, inclusief montage, toebehoren, hulpmateriaal etc.;
- Distributiesysteem en afleversets per gebouw inclusief energiemeters;
- TEO installatie, bestaande uit:
 - * In- en uitnamepunt
 - * Leiding rivierwater in de grond
- Elektrotechnische installaties, exclusief kosten voor transformator zijn niet meegenomen (vallen onder gebouwinstallaties);
- Regeltechniek en stichtingskosten.

De investeringskosten zijn gebaseerd op marktconforme prijzen, prijspeil 2018.

Tabel 14: Investeringskosten indicatief (prijspeil 2018)

Criteria	Referentie	1. Cluster	2a. LT ring	2a. LT ring 50%
Opwekking	€ 19.700.000 ⁴	€ 9.500.000	€ 9.290.000	€ 10.038.000
Centrale distributie	Incl.	€ 2.080.000	€ 1.430.000	€ 1.044.000
Centrale afgiftesysteem	Incl.	€ 304.000	€ 472.000	€ 301.000
Gebouwzijdig distributie en afgiftesysteem	Incl.	€ 15.585.000	€ 15.585.000	€ 15.585.000
Stichtingskosten	€ 1.500.000	€ 5.160.000	€ 5.050.000	€ 5.113.000
Totaal	€ 21.200.000	€ 32.700.000	€ 31.900.000	€ 32.080.000
<i>Meerkosten</i>		<i>€ 11.500.000</i>	<i>€ 10.700.000</i>	<i>€ 10.880.000</i>

⁴ Raming is inclusief gebouwzijdig distributie en afgiftesysteem.



4.2. Exploitatielasten

De exploitatielasten, voor zowel het WKO-systeem als het referentiesysteem (stadsverwarming en luchtgekoelde koelmachines), bestaan uit energielasten, onderhouds- en beheerkosten. In de onderstaande tabel zijn de exploitatielasten van zowel het WKO-systeem als het referentiesysteem weergegeven.

Tabel 15: Exploitatielasten indicatief (prijspeil 2018)

Criteria	Referentie	1. Cluster	2a. LT ring	2a. LT ring 50%
Vastrecht	€ 1.659.000	€ 210.000	€ 186.000	€ 194.000
Verbruik	€ 923.000	€ 384.000	€ 337.000	€ 302.000
Onderhoud	€ 103.000	€ 1.100.000	€ 938.000	€ 1.079.000
Beheer	€ 9.000	€ 200.000	€ 200.000	€ 200.000
Totaal	€ 2.694.000	€ 1.894.000	€ 1.661.000	€ 1.775.000
<i>Kosten per m² (circa)</i>	<i>€ 6,50</i>	<i>€ 4,50</i>	<i>€ 4,-</i>	<i>€ 4,50</i>

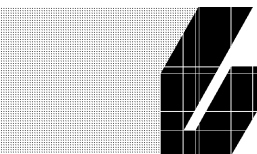
Opgemerkt wordt dat bovenstaande kosten excl. vervangingsinvesteringen zijn, terwijl dit voor de referentie grotendeels niet van toepassing is (stadsverwarming heeft geen vervangingsinvesteringen). De vervangingswaarde heeft geen invloed op de conclusie, omdat de vervangingsinvestering wordt gedaan nadat de installatie is terugverdiend.

4.3. Resultaten economische haalbaarheid

Op basis van bovenstaande investerings- en jaarlijkse kosten zijn navolgende terugverdientijden bepaald voor de in- en verkoop van energie, het onderhoud en beheren van de installaties.

Tabel 16: Resultaten economische haalbaarheid (prijspeil 2018)

Criteria	Referentie	1. Cluster	2a. LT ring	2a. LT ring 50%
Totale investeringskosten	€ 21.200.000	€ 32.700.000	€ 31.900.000	€ 32.080.000
<i>Meerkosten</i>		<i>€ 11.500.000</i>	<i>€ 10.700.000</i>	<i>€ 10.880.000</i>
Investering per m ² BVO	€ 52	€ 80	€ 78	€ 79
Totale jaarlijkse kosten	€ 2.694.000	€ 1.894.000	€ 1.661.000	€ 1.775.000
Jaarlijkse kosten per m ²	<i>€ 6,50</i>	<i>€ 4,50</i>	<i>€ 4,-</i>	<i>€ 4,50</i>
Terugverdientijd (in jaar)	-	14,4	10,4	11,7



4.4. Fasering

Het Beurskwartier kent een verwachte ontwikkelperiode tot en met 2030. In deze paragraaf is nader ingegaan op de fasering van de investeringskosten. Zodoende kunnen de kosten verplaatst worden naar het moment dat het noodzakelijk is.

Voor het 'cluster' concept is het hoe dan ook mogelijk om de investeringskosten per cluster te faseren, echter is er ook gekeken of de investeringskosten per cluster gefaseerd kunnen worden. Voor de collectieve concepten zijn de mogelijk faseringen onderzocht voor het hele project. In *Tabel 17* zijn onze bevindingen gepresenteerd.

Tabel 17: Mogelijk te faseren onderdelen

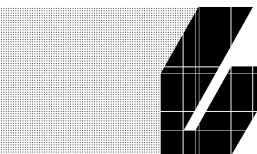
Moment	1. Cluster	2a. LT ring 100%	2b. LT ring 50%
Centraal	Warmte- en koudeopwekking Centrale distributie Centrale afgiftesystemen Stichtingskosten	Centrale distributie Centrale afgiftesystemen Stichtingskosten	Centrale distributie Centrale afgiftesystemen Stichtingskosten
Per gebouw	Distributie gebouwzijdig Afgifte gebouwzijdig	Warmte- en koudeopwekking Distributie gebouwzijdig Afgifte gebouwzijdig	Warmte- en koudeopwekking Distributie gebouwzijdig Afgifte gebouwzijdig

In de onderstaande *Tabel 18* zijn de onderdelen gekwantificeerd:

Tabel 18: Bedragen van de te faseren onderdelen (prijspeil 2018)

Moment	1. Cluster	2a. LT ring 100%	2b. LT ring 50%
Centraal	€ 15.600.000	€ 4.500.000	€ 3.880.000
Per gebouw	€ 17.100.000	€ 27.400.000	€ 28.200.000

Voor concept 1 bestaan de kosten voor het centrale gedeelte uit circa € 650.000,- voor de TEO installatie en vervolgens circa € 5 miljoen per cluster. Te zien is dat de financiële verschillen t.a.v. fasering voor concept 2a en 2b voordeliger is, met name voor concept 2b.



4.5. Regeneratiealternatief

Het alternatief voor het regenereren van de bronnen is door warmte in te vangen door middel van droge koelers die op de daken van de gebouwen geplaatst moeten worden. In deze paragraaf worden de twee regeneratieopties financieel vergeleken. Voor de droge koelers zijn de volgende kosten meegenomen:

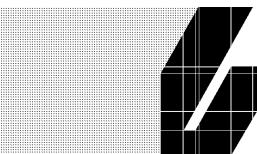
- Aanschaf en installatie van de droge koeler;
- Een TSA voor de droge koeler;
- Leidingwerk van en naar de droge koeler.

In de onderstaande tabel staan de investeringskosten voor de twee opties gepresenteerd.

Tabel 19: Investeringskosten regeneratiemethoden (prijspeil 2018)

	1. Cluster	2a. LT ring 100%	2a. LT ring 50%
TEO	€ 710.000	€ 700.000	€ 513.000
Droge koeler	€ 520.000	€ 900.000	€ 770.000
Besparing TEO	€ -190.000	€ 200.000	€ 212.000

In Tabel 19 is te zien dat de kosten voor TEO lager uitvallen voor concepten 2a en 2b. Alleen voor concept 1 zou het mogelijk interessant zijn om droge koelers toe te passen, echter gaat dit ten koste van dakoppervlak welke gebruikt kan worden voor energieopwekking door middel van PV-panelen.



5. **Organisatorische haalbaarheid TEO**

De organisatorische haalbaarheid wordt vooral bepaald door partijen die van belang zijn om TEO van de grond te krijgen en uiteindelijk tot de realisatie- en exploitatiefase te komen.

De belangen van de verschillende partijen kunnen (vanuit financieel oogpunt) uiteen lopen:

- Een vastgoedontwikkelaar kijkt vanuit een commercieel belang naar de realisatie en oplevering van het gebouw (inclusief de warmte- en koudevoorzieningen); doorslaggevend zijn de initiële investeringskosten, de kosten tijdens de exploitatiefase vallen immers bij een ander. De trigger voor de ontwikkelaar bestaat uit korte termijn investeringen en opbrengsten;
- Een afnemer van TEO is gebaat bij lange termijn zekerheid van levering en lage kosten voor afname van warmte en koude;
- Overheden sturen op het maatschappelijke belang met een maatschappelijke waarde op de lange termijn;
- Een financier kijkt naar de risico's (krijg ik mijn geld terug) en het rendement dat daar tegenover staat. Banken zullen over het algemeen beoordelen of de kasstroom van het project gezond is.

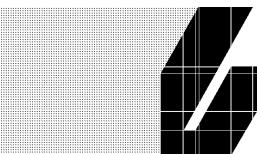
Om een TEO project te laten slagen is het zaak om deze belangen uiteindelijk verenigbaar te maken. Onderdeel daarvan is het garanderen van een gezonde kasstroom. Enerzijds moet het voor de potentiële afnemers van TEO aantrekkelijk zijn om warmte- en koude af te nemen en anderzijds moet er een bepaalde zekerheid zijn voor de financier om het project te financieren. Dat wil zeggen dat een eventuele aansluitverplichting (bij de gronduitgifte) op het ringleidingnet tot de opties behoort om het project tot een succesvol einde te brengen.

Daarnaast gaat het huidige concept uit van een centrale of decentrale energievoorziening voor het Beurskwartier. Dit betekent dat de realisatie en exploitatie van de energievoorziening centraal geregeld dient te worden. Er zijn verschillende manieren hoe dit gerealiseerd kan worden.

Hoofdzakelijk komt het neer op de volgende opties:

1. Het TEO project gezamenlijk in eigendom realiseren en exploiteren, waarbij de operationele exploitatie uitbesteed wordt aan een professionele exploitant;
2. Het TEO project gezamenlijk in eigendom te realiseren en vervolgens te verkopen aan een professionele energieleverancier;
3. Het TEO project te laten realiseren en exploiteren door een professionele energieleverancier.

Vanuit de rol en expertise van de gemeente wordt aanbevolen om voor de derde optie te kiezen, het TEO-project te laten realiseren en exploiteren door een professionele energieleverancier.



5.1. Maatschappelijke baten

5.1.1. Hittestress en waterkwaliteit

Het gebruik van TEO voor het regenereren draagt niet alleen bij aan CO₂ reductie, maar ook aan andere maatschappelijke baten. De waterkwaliteit kan op warme dagen negatief beïnvloed worden door de hoge temperatuur van het Merwedekanaal, bijvoorbeeld door blauwalgen. Tevens versterkt warm oppervlaktewater hittestress (door het warme water koelt de lucht 's nachts minder af, waardoor de temperatuur overdag verder oploopt). Indien warmte uit het oppervlaktewater wordt opgenomen, wat nu het uitgangspunt is, verlaagt de temperatuur van het water en kan er een stroming ontstaan door het gebruik van pompen. Beide hebben een gunstig effect op de hittestress en de waterkwaliteit van het Merwedekanaal.

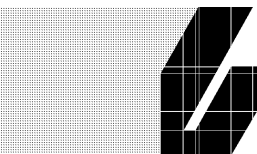
5.1.2. Beschikbaar dakoppervlak

Indien er geen gebruik wordt gemaakt van TEO dienen de bronnen te worden geregenereerd door middel van droge koelers die op het dak van gebouwen geplaatst dienen te worden. Met de nieuwe BENG-eisen in het vooruitzicht is dit een ongewenste situatie. Het dakoppervlak kan namelijk gebruikt worden voor het plaatsen van PV-panelen. Met het gebruik wordt van TEO ten behoeve van het regenereren van de bronnen worden de volgende dakoppervlaktes bespaart:

Tabel 20: Beschikbaar dakoppervlak

	1. Cluster	2a. LT ring 100%	2b. LT ring 50%
Onbalans [MWh]	2.470	2.330	1.700
Vollasturen [uur]	600	600	600
Thermisch vermogen [kW]	4.120	3.880	2.830
Benodigd dakoppervlak [m ²]	500	470	340

Het gebruik van TEO brengt twee belangrijke voordelen met zich mee. Enerzijds hoeven door het gebruik van TEO geen droge koelers op het dak geplaatst te worden, waardoor er meer dakoppervlak beschikbaar is om duurzame energie op te wekken. Anderzijds zorgen droge koelers op de daken van gebouwen voor geluid- en landschapsvervuiling. Middels TEO kan dit probleem eenvoudig opgelost worden, omdat de voorzieningen voor TEO niet zichtbaar en hoorbaar zijn vanaf de openbare weg.



5.1.3. CO₂-besparing

Naast de maatschappelijke baten, zoals vermindering van hittestress en dakoppervlak dat vrijkomt, zal er met de onderzochte TEO concepten ook een CO₂ besparing gerealiseerd worden. De CO₂ besparing wordt gerealiseerd omdat er ten opzichte van het referentieconcept minder tot geen stadsverwarming benodigd is. In de onderstaande tabel staan de CO₂ besparingen per concept weergegeven.

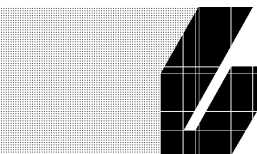
Tabel 21: CO₂ besparing

	Referentie	1. Cluster	2a. LT ring	2b. LT ring
CO ₂ -uitstoot – grijze stroom	2.513.000 kg	1.505.000 kg	1.339.000 kg	1.293.000 kg
<i>Besparing bij grijze stroom</i>		<i>1.008.000 kg</i>	<i>1.174.000 kg</i>	<i>1.220.000 kg</i>
CO ₂ -uitstoot – groene stroom	1.951.000 kg	193.000 kg	143.000 kg	0 kg
<i>Besparing bij groene stroom</i>		<i>1.758.000 kg</i>	<i>1.808.000 kg</i>	<i>1.951.000 kg</i>

Zoals te zien is in de grafiek, zal met elke concept CO₂ bespaard worden ten opzichte van het referentiesituatie. Concept 2a bespaart het meeste CO₂, indien gebruik gemaakt wordt van grijze stroom. Dit verandert echter wanneer gebruik gemaakt wordt van groene stroom. Dan zal concept 2b geen CO₂ uitstoten, terwijl concept 2a nog steeds CO₂ zal uitstoten omdat het gebruik maakt van stadsverwarming.

5.1.4. Kosten voor de eindgebruiker

De kostencomponent voor de eindgebruiker is niet doorerekend. De investerings- en exploitatiekosten van stadsverwarming/koelmachines zijn vergeleken met 3 WKO-concepten. Daaruit bleek dat de 3 concepten hogere investeringskosten hebben en lagere exploitatiekosten. Het is aan de ontwikkelaar van de projectdelen om (een deel van) de hogere investeringskosten eventueel te verrekenen in hogere energietarieven voor de eindgebruiker of in hogere aansluitkosten. Om daar wat over te kunnen zeggen zal het gekozen concept financieel verder doorerekend moeten worden (een Business Case voor opstellen).



6. Conclusies en aanbevelingen

6.1. Conclusies

In dit rapport is de technische, economische en organisatorische haalbaarheid van een collectief WKO-systeem met TEO als regeneratievoorziening voor het Beurskwartier bepaald. In het onderzoek is een referentiesysteem (stadsverwarming met koelmachines) vergeleken met 3 concepten.

Technische haalbaarheid

Op basis van de beschikbare bodemcapaciteit en bronposities kan geconcludeerd worden dat individuele duurzame energieconcepten niet mogelijk zijn voor het Beurskwartier. Er kunnen simpelweg niet genoeg bronnen gerealiseerd worden om alle gebouwen te voorzien van een eigen warmte- en koudeopslag.

Met betrekking tot de technische haalbaarheid van zowel TEO als de inpassing daarvan in de drie concepten kan geconcludeerd worden dat TEO technisch haalbaar is. Het Merwedekanaal heeft genoeg potentie om het Beurskwartier te voorzien van warmte. Echter zijn er wel een aantal kanttekeningen:

- De capaciteit in de ondergrond van het Beurskwartier is niet toereikend genoeg om te voorzien in het totale verwarmingsvermogen van het Beurskwartier. Er is dus, naast de bronnen, een secundaire warmteopwekker nodig om te voorzien in de pieklust.
- Er is een minimale doorstroming van het Merwedekanaal nodig van circa 0,2 m³/sec.

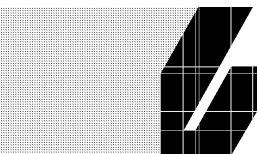
Economische haalbaarheid

Uit het financiële vergelijk blijkt dat de drie concepten een enkelvoudige terugverdientijd hebben van circa 10 tot 15 jaar. De benodigde voorinvestering is circa € 3,5 tot € 4,5 miljoen voor de concepten 2a en 2b en circa € 5,0 miljoen voor concept 1. Zowel qua terugverdientijd als vanuit het oogpunt van fasering scoren de concepten 2a en 2b (LT-ringleiding) beter dan het clusterconcept 1. Het TEO-systeem geeft bij de concepten 2a en 2b een financieel investeringsvoordeel van circa € 200.000,- en een exploitatievoordeel van circa € 10.000,- per jaar. Bij concept 1 is het TEO-systeem zowel qua investering als exploitatie duurder dan een droge koeler (€ 190.000,- en € 7.000,- /jaar)

Organisatorische haalbaarheid

Om dit TEO project tot een succesvol einde te brengen zullen de belangen van de belanghebbenden verenigd moeten worden. Dit kan gedaan worden door in een vervolgfase het project inhoudelijk verder uit te laten werken en daarbij zowel de ontwikkelaars als mogelijke exploitanten te betrekken. Daarnaast zullen er garanties gegeven moeten worden vanuit de gemeente Utrecht; bijvoorbeeld door een aansluitverplichting van de gebouwen op het centrale energiesysteem.

De maatschappelijke baten zijn met name te kwantificeren in het verlagen van de hittestress en het beschikbaar houden van het dakoppervlak voor PV-panelen (besparing van circa 340 – 500 m²). De CO₂-besparing van de concepten is circa 1.000 tot 1.220 ton per jaar, met groene stroom zelfs 1.760 tot 1.950 ton CO₂. De CO₂-besparing van TEO ten opzichte van droge koelers is verwaarloosbaar klein.



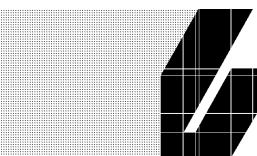
6.2. **Aanbevelingen**

Aanbevolen wordt om concept 2 (LT-ringleiding) als uitgangspunt te nemen voor de verdere uitwerking van het collectieve WKO-systeem. Concept 2a en 2b hebben de kortste terugverdiëntijd, de grootste jaarlijkse CO₂-besparing en de laagste voorinvestering.

Als gekozen wordt voor Concept 2 dan wordt aanbevolen dit concept te combineren met een TEO-installatie. Dit heeft zowel financiële als maatschappelijke voordelen ten opzichte van het alternatief: balansherstel met droge koelers.

Aanbevolen wordt om als vervolgstap een masterplan voor het Beurskwartier op te laten stellen. In dit masterplan zullen de volgende aspecten aan bod moeten komen:

- Technische uitwerking concept 2, inclusief ruimtebeslag, bodemenergieplan en eventueel noodzakelijk MER (milieueffectrapportage).
- Demarcatie en aansluitvoorwaarden voor gebouwen op centraal WKO- & TEO-systeem.
- Afstemming met stakeholders (o.a. gemeente Utrecht, Jaarbeurs, projectontwikkelaars, Eneco en mogelijke exploitanten).
- Garanties vanuit de gemeente Utrecht (door bijvoorbeeld door een aansluitverplichting van de gebouwen op het centrale energiesysteem) en/of een LOI met stakeholders.



7. **Bibliografie**

Buro Bron. (2017). *Bodemenergieplan Beurskwartier te Utrecht.*

De urbanisten. (2016). *Het living lab utrecht: de klimaatneutrale en klimaatbestendige stad.*

De urbanisten. (2017). *Verkenning nieuwe groenblauwe verbinding.*

Deltares. (2017). *Potentie thermische energie Merwedekanaal.*

Gemeente Utrecht. (2017). *Omgevingsvisie Beurskwartier Lombokplein: Naar een groter centrum.*

IF Technology. (2017). *Smart polder Merwedekanaalzone Utrecht.*

Medrano, E. A., Wisse, K., & Uittenbogaard, R. (2009). Energy capture using urban surface water: modelling and in-situ measurements. *Building simulation*, 716-723.

Stowa. (2017). *Thermische energie uit oppervlaktewater. Handreiking voor ontwikkeling TEO-projecten.*

TNO, Deltares, AT Osborne. (2017). *SSD - Beurskwartier Utrecht: Resultaten verkenning WKO-allianties.*

WL | Delft Hydraulics. (2003). *Warmtelozing in oppervlaktewater en uitwisseling met de atmosfeer.*

WL | Delft Hydraulics. (2007). *Implementeren verbeteringen in het landelijk temperatuurmodel.*