



TEO versus collectieve luchtwarmtepomp (MES): een quick-scan voor ingewijden

Rob Bremer, Dick Hofman, Maarten Aldus

21-12-2022

Aanleiding en opzet onderzoek

- Naar aanleiding van het variantenrapport Tiel wat door RHDHV is gemaakt, is Qirion gevraagd om in beeld te brengen hoe TEO op deze schaal zich verhoudt tot een collectieve luchtwarmtepomp (MES) in elke buurt. De vraag “is TEO kostentechnisch voordeliger dan een MES?” staat hierbij centraal.
- Bij het onderzoek is een aantal aanpassingen gemaakt aan de gekozen opstelling in het variantenrapport Tiel. De belangrijkste is dat het zeer sterke modulaire karakter van de originele TEO-opstelling is veranderd naar een minder modulaire, en daarmee goedkoper ontwerp.

Resultaat

- TEO is kostentechnisch voordeliger dan MES, bij de schaal zoals die voor de casus uit het variantenrapport is gehanteerd, i.e. 8.500 woningen
- Er bestaat een break-even point rond tussen de 15 en 25MW (piekvermogen voor circa 3800 woningen) waarboven de TEO-installatie over een looptijd van 30 jaar netto contant goedkoper is dan buurtwarmtepompen (MES) per buurt, bij het elektriciteitsprijsniveau van Q2 2021.
- Vanwege de aanwezigheid van een break-even point kan er nagedacht worden over een transitie strategie waar warmtevraag wordt aangesloten op buurtwarmtepompen tot een totale warmtevraag van ongeveer 20MW waarna overgegaan kan worden op het bouwen van een TEO welke deze buurtnetwerken voorziet van warmte.
- De elektriciteitsprijs heeft behoorlijke invloed op de positie van het break-even point. Bij hogere elektriciteitsprijzen verschuift het break-even point naar een lager vermogen, dit is in het voordeel van TEO.

Toelichting

- Dit break-even point is sterk afhankelijk van de elektriciteitsprijs. Het break-even point verschuift van 20 MW naar 5MW bij een stijgende elektriciteitsprijs van 83EUR/MWh naar 200EUR/MWh.
- Vanwege het lagere rendement (systeem sCOP¹ 2,7) van een buurtwarmtepomp (MES) ten opzichte van een TEO systeem (systeem sCOP 3,3) neemt de netto contante waarde van een TEO systeem minder toe dan een MES bij stijgende elektriciteitsprijzen.

In opdracht van Warmte uit Water (een samenwerking tussen Alliander en Rijkswaterstaat) is er een studie¹ uitgevoerd door Royal HaskoningDHV (RHDHV) naar Thermische Energie uit Oppervlakte water (TEO) in Tiel West. Hierbij zijn vier ontwerpen gemaakt voor de onttrekking van warmte uit de Waal, welke circa 8500 woningen (45MW piekvermogen) kan voorzien van warmte (met een omvang van 15MW basislast).

Naar aanleiding van deze studie is Qirion gevraagd om in beeld te brengen hoe TEO op deze schaal zich verhoudt tot collectieve warmtenetten met een buurtwarmtepomp (MES) in elke buurt. Bij welke omvang is TEO kostentechnisch voordeliger dan een MES. Is er een strategie denkbaar dat de MES wordt ingezet als transitiemiddel: starten met buurten overschakelen naar buurtwarmtepompen en overstappen naar TEO wanneer de omvang van de overgeschakelde warmte vraag groot genoeg is.

Om hier antwoord op te geven zijn de volgende vragen opgesteld:

1. Bestaat er qua omvang een break-even point waarbij een TEO installatie door schaalvoordeel, goedkoper is dan de MES.
2. Welk effect heeft de energieprijs op dit break-even point. Is een TEO systeem robuuster of minder robuust bij energieprijsstijging.

Om het schaalvoordeel goed in beeld te brengen is het nodig om het TEO ontwerp, dat in Tiel reeds is uitgevoerd¹, te heroverwegen. Twee belangrijke aspecten worden heroverwogen: het ontwerp is te sterk modulair opgezet², de delta T van 2 graden kan naar een delta T van 4 graden zonder in te leveren op dekkingsgraad³ en vergunbaarheid. Daarnaast wordt er gekozen om type 2A (TEO: direct en zonder WKO) te hanteren in deze studie, omdat deze het meest kosteneffectief wordt geacht, in tegenstelling tot wat het voorgaande rapport laat zien².

³ ¹Variantenstudie TEO-systeem Tiel, 2 mei 2022, Royal HaskoningDHV

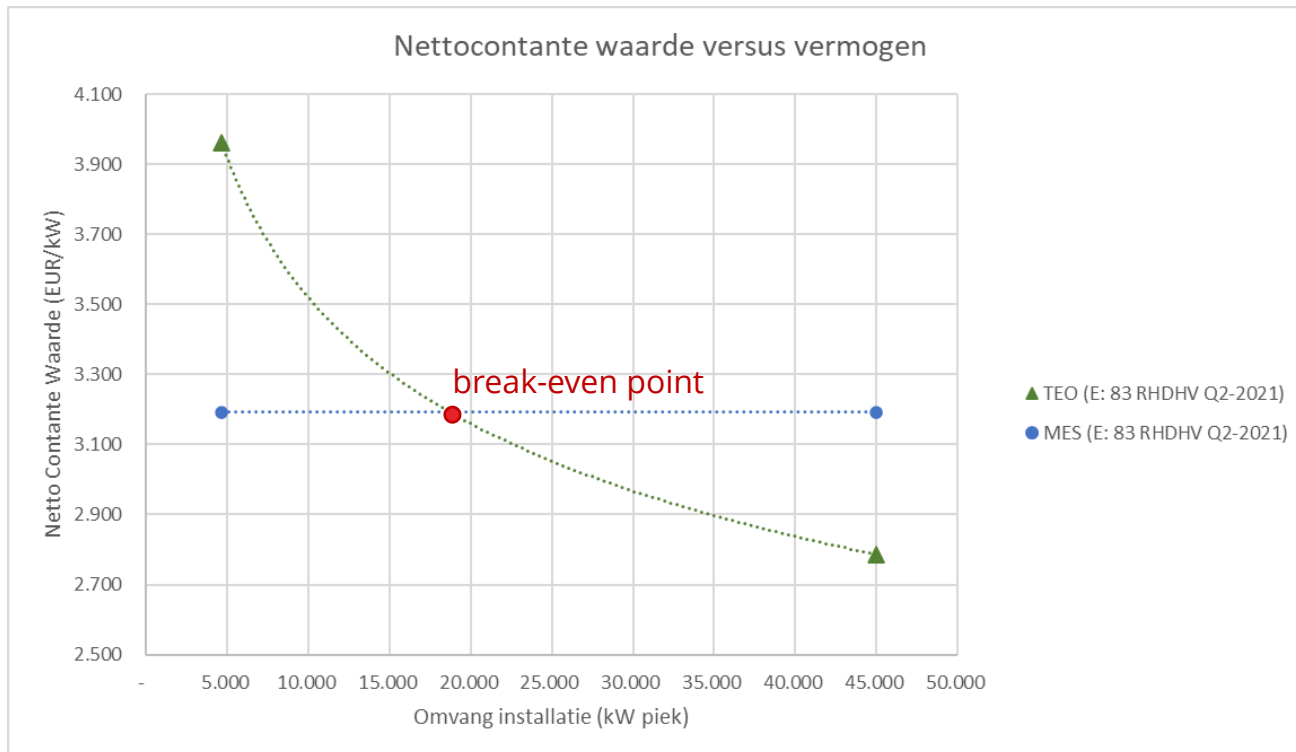
²zie bijlage 4 voor uitgebreidere toelichting

³zie bijlage 5 voor toelichting

Break-even point MES versus TEO

Bij toenemende omvang van een TEO installatie zullen de investeringskosten per kilowatt minder worden vanwege **schaalvoordelen**: grotere componenten als ketels en warmtepompen zijn in verhouding EUR/kW goedkoper dan kleinere. Voor de MES hebben we aangenomen dat er in elke buurt eenzelfde omvang MES wordt geplaatst. Schaalvoordeel in de vorm van grootschalige inkoop bij toeleveranciers hebben we buitenbeschouwing gelaten. **Bijlage 1** is deze schaling van CAPEX verder toegelicht.

Er bestaat een **break-even point rond 20MW** (circa 3800 woningen) waarboven collectieve warmtenetten gevoed in combinatie met TEO installaties over een looptijd van 30 jaar netto contant goedkoper zijn dan met buurtwarmtepompen (MES) per buurt. In onderstaande grafiek is het schaalvoordeel van TEO is te zien in de dalende groene lijn. Aanname van constante kosten voor de MES is te zien in de horizontale blauwe lijn. Vanwege de aanwezigheid van een break-even point kan er nagedacht worden over een transitie strategie waar warmtevraag wordt aangesloten op buurtwarmtepompen tot een totale warmtevraag van 20MW waarna overgegaan kan worden op het bouwen van een TEO welke deze buurtnetwerken voorziet van warmte.



De kromme getrokken lijn tussen de 5 en 45 MW TEO installaties in grafiek 1 is gekozen als volgt:

Het empirische verband tussen investeringskosten van installaties van verschillende omvang kan bij uiteenlopende industriële installaties beschreven worden met behulp van een machtsfunctie:

$$\frac{C_2}{C_1} = \left(\frac{Q_2}{Q_1}\right)^x$$

C_1 = Investeringsomvang voor installatie 1

C_2 = Investeringsomvang voor installatie 2

Q_1 = Capaciteit van installatie 1

Q_2 = Capaciteit van installatie 2

X = Schaal factor

In deze studie zijn de 5 en 45MW TEO installaties geraamd, de tussenliggende waarden kunnen met deze formule geïnterpoleerd worden. Waarbij we in deze studie x op 0,77 hebben vastgesteld. **(zie bijlage 1 voor toelichting en referenties)**

Grafiek 1: resultaten van financiële doorrekening van MES en TEO van 5 en 45MW

Break-even point MES versus TEO sterk energieprijis afhankelijk

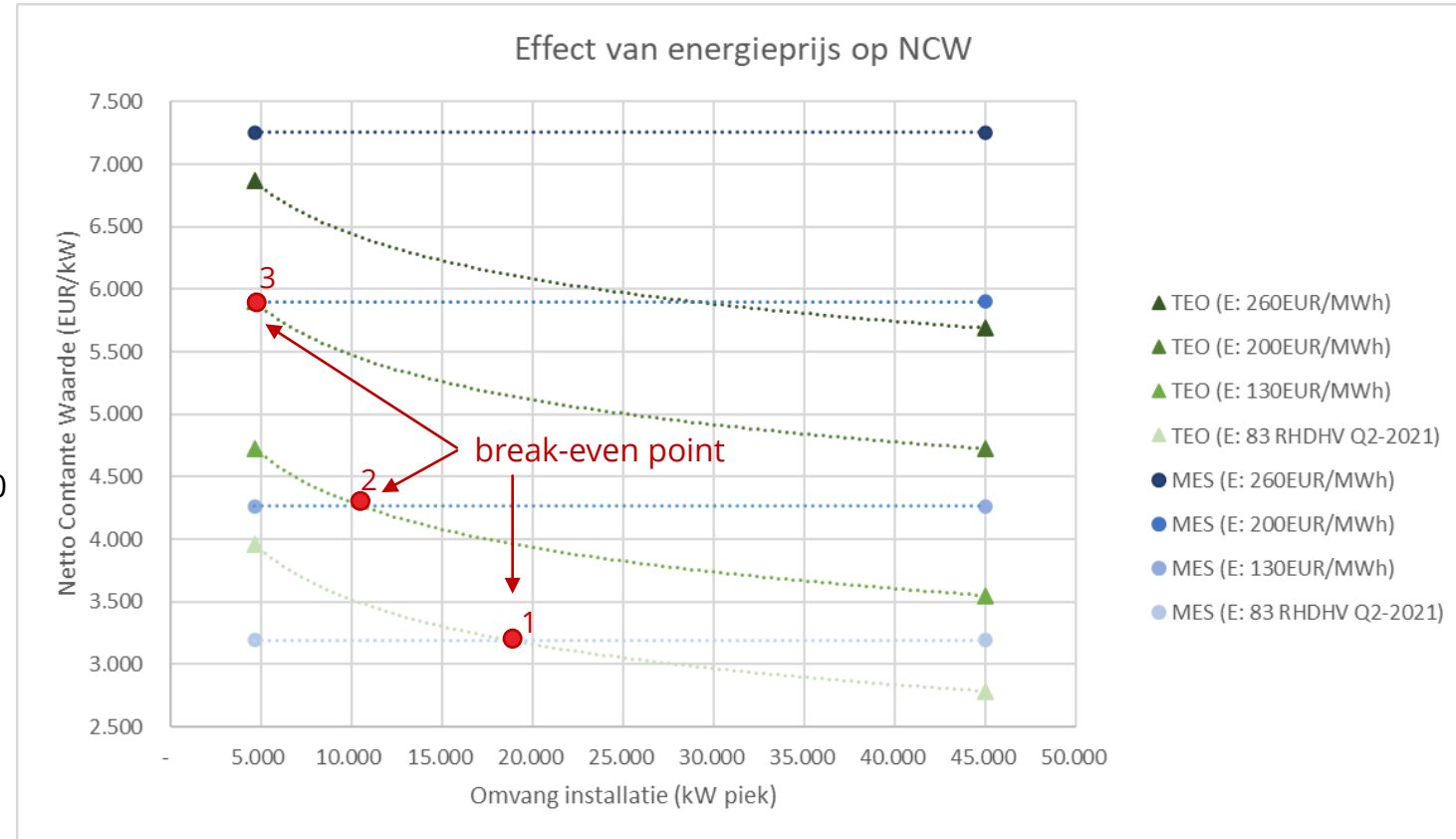
Er is een sterke afhankelijkheid van de elektriciteitsprijs op de totale kosten van de systemen, omdat het grootste deel van de warmte wordt geproduceerd met behulp van warmtepompen.

MES is beneden een bepaald vermogen (break-even point) Netto Contant (looptijd 30jaar) goedkoper dan TEO. Dit break-even point verschuift naar lagere vermogens met toenemende elektriciteitsprijs (zie *bijlage 3* voor gekozen scenario's).

Break-even points

1. Bij een elektriciteitsprijs van 83EUR/MWh (Q4 2022) en deze in het rapport van RHDHV, zal dit break-even point liggen rond 20 MW (circa 3800 woningen), dit betekent dat de MES tot dit vermogen goedkoper zal zijn dan TEO.
2. Bij een verhoogde elektriciteitsprijs (130EUR/MWh) zal het break-even point bij 10MW liggen, waaronder de MES goedkoper zal zijn.
3. Vanaf een elektriciteitsprijs van 200EUR/MWh of hoger zal TEO (>5MW) altijd goedkoper zijn.

Vanwege het lagere rendement (systeem sCOP 2,7) van een buurtwarmtepomp (MES) ten opzichte van een TEO systeem (systeem sCOP 3,3) neemt de netto contante waarde van een TEO systeem minder toe dan een MES bij stijgende elektriciteitsprijzen.



Grafiek 2: Bij drie prijs scenario's de verbanden tussen Netto Contante Waarde en omvang installatie weergegeven. Het break-even point verschuift naar links bij toenemende energieprijzen.

1. Met de huidige elektriciteitsprijs bestaat er een break-even point rond de 20MW (circa 3800 woningen), tot waar een MES goedkoper is en waarboven TEO goedkoper wordt.
2. Dit break-even point is sterk afhankelijk van de elektriciteitsprijs. Het break-even point verschuift van 20 MW naar 5MW bij een stijgende elektriciteitsprijs van 83EUR/MWH naar 200EUR/MWh.
3. Vanwege het lagere rendement (systeem sCOP 2,7) van een buurtwarmtepomp (MES) ten opzichte van een TEO systeem (systeem sCOP 3,3) neemt de netto contante waarde van een TEO systeem minder toe dan een MES bij stijgende elektriciteitsprijzen.

Aanbevelingen:

- Een transitiepad om te komen tot een grootschalig warmtenet gevoed met TEO kan als volgt voorgesteld worden: de eerste jaren investeren en realiseren van warmtenetten in combinatie met buurtwarmtepompen per buurt, wanneer de aangesloten warmtevraag een totale omvang heeft van het break-even point (15 tot 25 MW) kan een TEO bron kosten effectiever worden ontwikkeld. Netwerktechnisch kunnen de buurten gevoed worden door TEO middels een transportnet naar de buurtwarmtenetten. De buurtwarmtepompen in de buurt kunnen dan vervangen worden door regelkamers op dezelfde locatie. Het voordeel hierbij is dat de ruimte reeds gereserveerd is. Zie **bijlage 5** voor de ruimtelijke impact van zowel een MES als een regelkamer.
- De sCOP van TEO ligt hoger dan de MES (zie bijlage 5), een dergelijk transitiepad is daardoor interessant vanuit het oogpunt CO2 besparing.
- In deze studie is gekeken naar TEO type 2A (TEO zonder WKO en wisselaars in de technische ruimte), andere varianten zullen duurder uitvallen (zie bijlage 4). De MES gaat uit van lucht-water warmtepompen.
- Er is voor een aantal componenten een budgetprijs opgevraagd bij leveranciers (van warmtepompen, ketels en onderdelen van TEO SKIDS). Andere onderdelen zijn geschaald vanuit eerdere ramingen voor projecten. De bronleidingen is er lineair geschaald vanaf de studie RHDHV Tiel. Er is door Qirion geen ontwerp gemaakt voor deze studie, de gepresenteerde break-even points moeten dan ook als indicatief worden beschouwd. Of het break-even point exact bij 20 MW ligt is niet te zeggen, eerder kan er gesproken worden over dat er een break-even point aanwezig is en dat deze zich bevindt bij grotere TEO installaties ergens tussen 15 en 25MW.

Bijlage 1: Schaling van CAPEX

Bijlage 2: Toelichting financiële doorrekening

2.1: Uitgangspunten Netto contante waarde (NCW)

2.2: Samenvatting van de opbouw van kosten

2.3: Detail opsplitsing van kosten van minder modulair ontwerp en Zutphen

Bijlage 3: Effect van energieprijzen op NCW (gekozen prijsscenario's)

Bijlage 4: Minder modulair ontwerp

Bijlage 5: Afwegingsmatrix

Bijlage 6: Mutaties op de CAPEX en OPEX getallen uit RHDHV rapportage, benodigd om grafiek 3 te kunnen maken

Bijlage 7: Oorspronkelijke CAPEX en OPEX getallen uit RHDHV rapportage

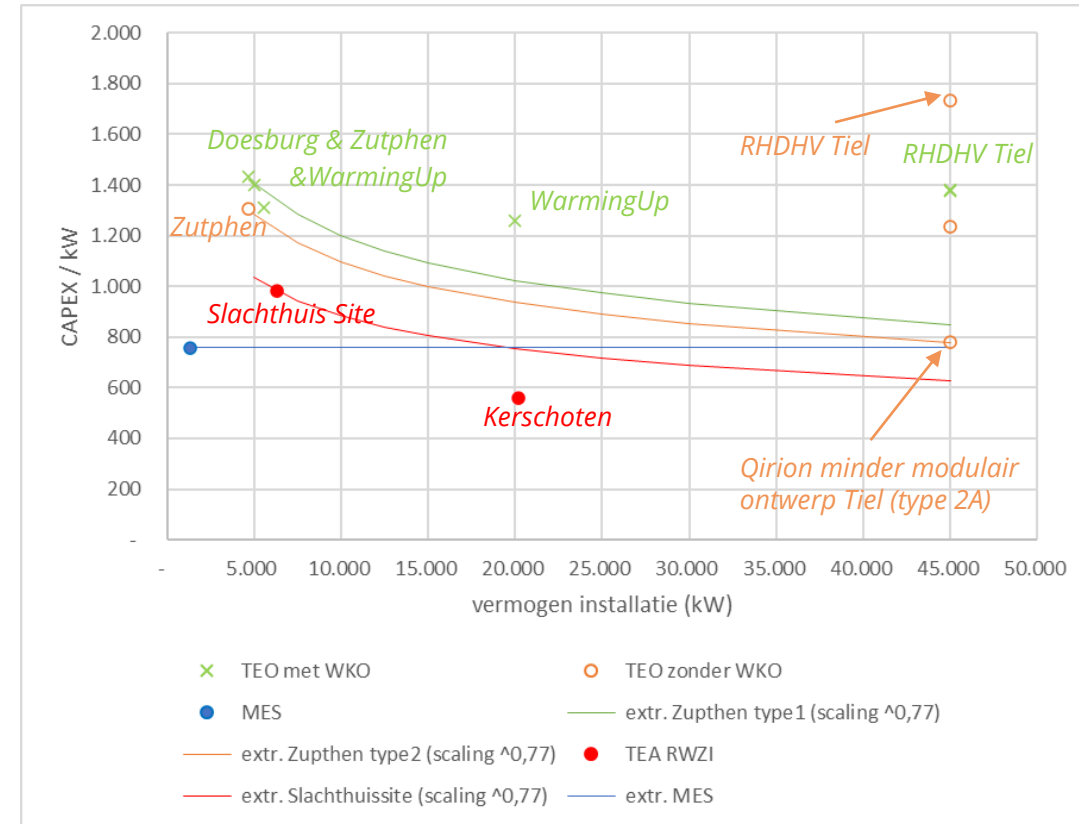
Bijlage 1: Schaling van CAPEX

In grafiek weergegeven:

- Een aantal eerder geraamde TEO zonder WKO (oranje), TEO met WKO (groen), TEA i.c.m. RWZI (rood) en MES in het blauw.
- Extrapolatielijnen van de circa 5 MW installaties (machtsfunctie welke empirisch in opwekinstallaties wordt gevonden¹). Een factor 0,77 is gevonden door twee punten met een machtsfunctie te fitten, een 45MW minder modulair ontwerp* en een circa 5MW raming uit Zutphen.
- CAPEX is uitgedrukt per kW piekvermogen, inbegrepen: TEO, bronleiding opwek installatie inclusief piekgasketels. Niet meegenomen CAPEX transport, distributie of woonaansluitingen.

Aandachtspunten:

- De punten Tiel zijn aangepaste waardes t.o.v. rapportage van RHDHV (zie **bijlage 6** voor toelichting)
- De ontwerpen van RHDHV en WarmingUp, maken onvoldoende tot geen gebruik van schaalvoordeel. Dit heeft te maken met het uitgangspunt dat de installatie "sterk" modulair moet zijn. Verdere toelichting in **Bijlage 4**.



Grafiek 3: verband tussen CAPEX opwekinstallaties en omvang

¹Scaling Laws: "Uses and Misuses in Industrial Plant and Equipment Replacement Cost Estimates", Clayton Baumann, PE, CCP & Alexander Lopatnikov, ASA, RICS, THE MTS JOURNAL, Volume 33, Issue 2, 2nd Qtr 2017

2. Toelichting financiële doorrekening

2.1 Uitgangspunten Netto contante waarde (NCW):

- Looptijd 30jaar
- CAPEX (In deze studie wordt gekeken naar de investeringkosten vanaf de bron tot en met de buurt. Distributienetten, aansluitleidingen en kosten binnen de woningen worden niet meegenomen, met de gedachte dat deze niet verschillen tussen de oplossingen.)
- Herinvesteringen
- Operationele beheer en onderhoudskosten
- Inkoop energie (elektriciteitsprijs van 83EUR/MWh en aardgasprijs van 39EUR/MWh, gehanteerd in het rapport RHDHV)
- Inflatie 2%
- Rendementseis 6%

Bijlage 2.2: Samenvatting van de opbouw van kosten

		RHDHV Tiel 1A	RHDHV Tiel 1B	RHDHV Tiel 2A	RHDHV Tiel 2B	MES	Qirion minder Modulair ontwerp Tiel (zonder WKO - type 2A)	Zutphen 4,6MW TEO (type 2A)
type systeem		Indirect - Open	Indirect - gesloten	Direct - Open	Direct - gesloten	lucht - water	direct open	direct open
energieprijzen		G: 39 E: 83	G: 39 E: 83	G: 39 E: 83	G: 39 E: 83	G: 39 E: 83	G: 39 E: 83	G: 39 E: 83
CAPEX								
Technische ruimte	€	26.241.443	26.095.643	29.346.065	28.317.965	34.090.909	25.755.889	5.116.427
TEO, WKO en bronleidingen	€	23.420.000	23.780.000	36.296.000	14.960.000	-	9.335.000	980.497
Transportnet incl. regelkamers	€	12.300.000	12.300.000	12.300.000	12.300.000	-	12.300.000	1.274.007
Totale CAPEX	€	61.961.443	62.175.643	77.942.065	55.577.965	34.090.909	47.390.889	7.370.930
herinvesteringkosten na 15 jaar	€	14.312.371	16.122.371	26.134.283	16.716.283	10.227.273	9.517.500	1.269.618
Inkoop energie								
Elektriciteitinkoop	kWh / jaar	45.198.285	40.633.297	35.085.217	38.366.540	49.559.694	32.609.011	3.377.569
Gasinkoop	GJg / jaar	77.106	77.106	111.242	77.106	77.106	77.106	7.986
OPEX								
Inkoop energie	€	4.586.774	4.207.880	4.117.196	4.019.739	4.948.770	3.541.864	366.858
Beheer en onderhoud	€	2.161.418	1.818.320	2.525.810	1.614.944	1.022.727	1.342.544	230.398
Totale OPEX	€	6.748.191	6.026.199	6.643.006	5.634.683	5.971.498	4.884.408	597.256
NCW waarde kosten (exclusief volloop)	€	190.546.030	179.200.404	211.255.853	166.119.086	143.682.052	125.370.608	18.468.886
NCW beheer onderhoudskosten / kW						396	519	860
NCW CAPEX en herinvesteringen / kW						884	897	1.733
NCW energiekosten / kW						1.914	1.370	1.370
NCW / kW		4.234	3.982	4.695	3.692	3.193	2.786	3.962

Gebruikt in deze studie

De laatste drie kolommen zijn de drie systemen die in deze studie zijn gebruikt. Ter vergelijking zijn de 4 varianten vanuit de voorgaande studie door RHDHV opgenomen. Door het minder modulaire ontwerp van type 2A (zoals beschreven in bijlage 3) zijn de kosten aanzienlijk lager. Op de twee volgende pagina's is in detail deze samenvatting van kosten opgesplitst. Waar voor de varianten in Tiel door RHDHV de **groene velden** zijn toegevoegd en de **gele velden** zijn aangepast t.o.v. de rapportage van RHDHV. Bij alle varianten is er door Qirion een piek /back-up gasinstallatie toegevoegd, de verhouding piek en basislast 3 op 1, waardoor een dekkingsgraad van 85% door basislast en 15% door piek voorzien wordt.

Bijlage 2.3 detail opsplitsing van kosten van minder modulair ontwerp en Zutphen

TEO			aantal	kosten per eenheid	Qirion minder modulair TEO 45MW	toelichting minder modulair ontwerp	aantal	kosten per eenheid	Zutphen TEO (4,6MW)					
	inlaat en uitlaat put	st.	2	€ 200.000	€ 400.000				€ 490.000					
	perspompen in inlaatput	st.												
	Leidingwerk	st.			€ 3.200.000	schalen van RHDV bronleiding: dT van 2 naar dT van 4			€ 364.097					
	Warmtewisselaar	kW	7	€ 85.000	€ 595.000	op basis van vergelijkbare omvang project								
	Betonnenbak voor wisselaar	st.												
	Leidingwerk	st.												
	Kruising primaire waterkering	st.			€ 2.400.000	schalen van RHDV bronleiding: dT van 2 naar dT van 4			inbegrepen in leidingwerk					
	SKID	st.	2	€ 1.320.000	€ 2.640.000	op basis van eerder TEO project met een omvang van SMW, waar deels componenten budgetprijzen voor opgevraagd zijn.			inbegrepen in prijs op regel inlaat en uitlaat put					
	nutsvoorziening	st.	2	€ 50.000	€ 100.000	zelfde omvang aangevraagd bij Liander voor ander project			€ 126.400					
	Vacuuminstallatie	st.				inbegrepen in prijs op regel SKID			inbegrepen in prijs op regel inlaat en uitlaat put					
	Aanzuigpompen	st.				inbegrepen in prijs op regel SKID			inbegrepen in prijs op regel inlaat en uitlaat put					
	Perspompen	st.				inbegrepen in prijs op regel SKID			inbegrepen in prijs op regel inlaat en uitlaat put					
	subtotaal TEO				€ 9.335.000				€ 980.497					
Technische Ruimte														
	Gebouw	m2	1.000	€ 816	€ 816.000	overgenomen RHDHV	225	€ 3.160	€ 711.000					
	Aankopen grond	m3	1.000	€ 150	€ 150.000	overgenomen RHDHV	225	€ 150	inbegrepen in kosten gebouw					
	Warmtepomp	kW	15.000	€ 933	€ 13.994.700	budget offerte opgevraagd	2.501	€ 837	€ 2.093.033					
	Hoofdverdeelinrichting incl. trafo	KVA	4.478	€ 205	€ 917.910	overgenomen RHDHV	4.478	€ 205	inbegrepen in de nutsvoorziening					
	Gasaanluiting	st.	1	€ 243.640	€ 243.640	zelfde omvang aangevraagd bij Liander voor ander project			inbegrepen in de nutsvoorziening					
	Transportpompen				€ 1.328.179	budget offerte opgevraagd			€ 56.880					
	Buffers	m3			€ 2.329.106	op basis van vergelijkbare omvang project	300	€ 1.817	€ 545.100					
	Waterbehandeling				€ 877.634	op basis van vergelijkbare omvang project			€ 205.400					
	Elektro en instrumentatie				€ 675.103	op basis van vergelijkbare omvang project			€ 158.000					
	Automatisering				€ 1.350.207	op basis van vergelijkbare omvang project			€ 316.000					
	Piek-/Backup ketel	kW	45.000	€ 68	€ 3.073.410	budget offerte opgevraagd	4.661	€ 221	€ 1.031.013					
	subtotaal Technische Ruimte				€ 25.755.889				€ 5.116.427					
WKO														
	WKO warmtewisselaars	st.			€ -				€ -					
	WKO distributiepompen	st.			€ -				€ -					
	WKO leidingwerk (11,2km)	st.			€ -				€ -					
	WKO bronnen	st.			€ -				€ -					
	Kruising secundaire waterkering (GFT)	st.			€ -				€ -					
	subtotaal WKO				€ -				€ -					
Totaal					€ 35.090.889				€ 6.096.924					
OPSPLITSING OPEX														
Onderhoudskosten			Beheer&onderhoud			kosten			Beheer&onderhoud			kosten		
30	Warmteoverdrachtstations	%				Technische ruimte	3,3 %	€	849.944	Technische ruimte	3,3 %	€	168.842	
15	Installaties in warmtenetten	%				Bronleidingen	1,5 %	€	84.000	Bronleidingen	1,5 %	€	5.461	
30	Transportleidingen	%				TEO exclusief bronleidingen	6,0 %	€	224.100	TEO exclusief bronleidingen	6,0 %	€	36.984	
15	Warmtepompen	%				Transportnet	1,5 %	€	184.500	Transportnet	1,5 %	€	19.110	
30	WKO	%												
15	TEO	%												
15	piek en backup ketel	%												
30	betonnenbak	%												
30	Transportleidingen	%												
Elektriciteit			Inkoop Energie			Elektriciteit (kWh)			Inkoop Energie			Elektriciteit (kWh)		
	Warmtepomp+pompen	kWh												
	WKO	kWh	32.609.011	€ 0,083	€ 2.706.548					3.377.569	€ 0,083	€ 280.338		
	TEO	kWh												
Gas			Aardgas (GJg)			Aardgas (GJg)			Aardgas (GJg)			Aardgas (GJg)		
		GJg	77.106	€ 10,833	€ 835.316					7.986	€ 10,833	€ 86.520		
						Totale operationele kosten		€	4.884.408	Totale operationele kosten		€	597.256	

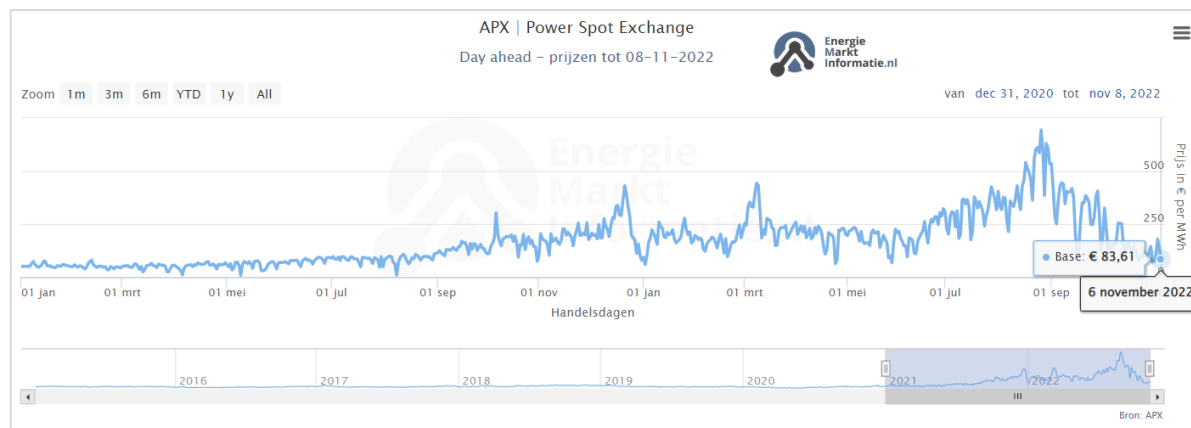
Bijlage 3: Effect van energieprijzen op NCW (gekozen prijsscenario's)



Gekozen prijsscenario's

	verhouding G/E	46,99 %	46,15 %	47,50 %	46,15 %
Energie prijs scenario's		rapport RHDHV	G: 60 E:130	G: 95 E: 200	G: 120 E:260
inkoop elektriciteitsprijs	EUR / kWh	€ 0,083	€ 0,130	€ 0,200	€ 0,260
	EUR/MWh	€ 83	€ 130	€ 200	€ 260
inkoop gasprijs	EUR / GJg	€ 10,83	€ 16,7	€ 26,4	€ 33,3
	EUR/MWh	€ 39	€ 60	€ 95	€ 120

Ter vergelijking hieronder de historische prijzen Elektra en Gas



Bijlage 4: Minder modulair ontwerp

Het ontwerp RHDHV (onderzoek in Tiel, zie figuur hiernaast opbouw van een type 2A installatie) gaat uit van een sterk modulair systeem, de opwekinstallatie groeit mee met de ontwikkeling van de warmtevraag.

Hiernaast een voorbeeld van het ontwerp van de technische ruimte, waar componenten als ketels, warmtepompen en TEO skids in veelvoud in kleine vermogens is opgedeeld.

- 43 TEO SKIDS
- Gasketels van 1,8MW per stuk
- Warmtepompen van 1,5MW per stuk

Bovendien wordt hierdoor ook het schaalvoordeel in OPEX onderbenut, vele kleinere componenten behoeft meer beheer en onderhoud dan enkele grotere componenten.

Hierom heeft Qirion voor deze studie een minder modulaire ontwerp gekozen:

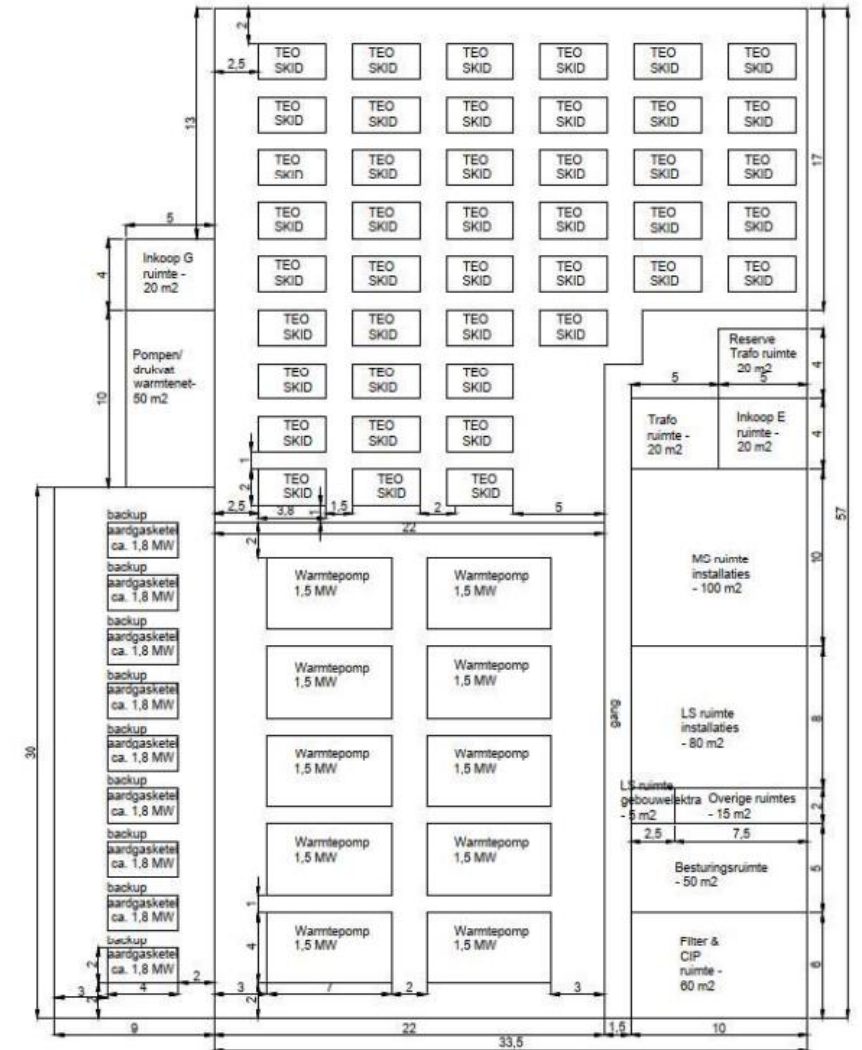
- Twee warmtepompen van 7,5MW (budget prijs ontvangen)
- Drie gasketels van 15MW (budget prijs ontvangen)
- Drie TEO SKIDs, drie maal een 5MW ontwerp (deels gebaseerd op budgetprijzen en kostenkennallen uit eerdere ontwerpstudie)
- In dit ontwerp is tevens uitgegaan van een delta T van 4 (twee maal zo groot als RHDHV), dit zorgt voor halvering van benodigde debiet dat verpompt hoeft te worden van rivier naar technische ruimte. En daarmee op z'n minst een halvering van kosten voor leidingen en boringen en SKIDS etc.



Keuze voor type 2A:

Er is gekozen voor type 2A, omdat wij hebben ondervonden dat dit het goedkoopste TEO systeem oplevert. Waarom we dit niet zien in het rapport zit in ontwerpkeuzes:

- te lage delta T's worden toegepast in de type A oplossingen, wat leidt tot te hoge debieten.
- daarnaast heeft modulariteit zoals hierboven genoemd heeft meer impact op de type A's.
- bij de type B's wordt er uitgekoueld tot onder het vriespunt, dit zorgt voor een optimistischer beeld bij de type B's.

Figuur uit rapportage RHDHV (te sterk modulair ontwerp voor doeleinde)



	TEO met WKO (type 1)	TEO zonder WKO (type 2)	MES
Duurzaamheid			
Warmtepomp rendement (sCOP)	3,80	3,61	2,70
Systeem rendement (sCOP)	3,04	3,28	2,67
dekkingsgraad	85%	85%	85%
jaarlijkse CO2 –besparing (energiemix 2030)	64%	65%	62%
Ruimtelijke inpassing			
Inpasbaarheid (in de buurt) [400 tot 500woningen]	regelkamer (LxBxH: 4,5x2,5x2,75m)		2 x MES (LxBxH: 9x3x4m)
		2x 	

Voor bepaling van dekkingsgraad en sCOP, zijn temperatuurmetingen van Rijkswaterstaat in Driel boven en Lobith haven (jaren 2016 t/m 2020) gehanteerd.

Bijlage 6: Mutaties op de CAPEX getallen uit RHDHV rapportage, benodigd om grafiek 3 te kunnen maken (2/2)

Om de CAPEX en OPEX van de TEO systemen uit de rapportage van RHDHV te kunnen vergelijken met MES en andere TEO projecten, zijn er een aantal mutaties doorgevoerd (zie oorspronkelijke CAPEX en OPEX getallen in bijlage 7):

CAPEX getallen zijn aangepast op de punten:

- Piek en back-up voorziening is toegevoegd in het ontwerp. RHDHV is uitgegaan van alleen basislast voorziening (33% van de benodigde piek), hiervoor is gekozen om een n-1 piek en back-up vermogen in de vorm van gasketels aan toe te voegen. (regel 27)
- Ontbrekende componenten hebben we toegevoegd: Transportpompen, Buffers, Waterbehandeling, Elektro en instrumentatie en Automatisering (regels 22 t/m26)

Onderhoudskosten zijn aangepast op de punten:

- Onderhoudskosten van de nieuw toegevoegde componenten toegevoegd: transportpompen, buffers, waterbehandeling, elektro en instrumentatie, automatisering (regel 42)
- Onderhoudskosten piek en back-up ketels toegevoegd (regel 47)
- Gas inkoop kosten aangepast, 15% van de geleverde warmte wordt met piekketels geproduceerd (regel 64)
- Onderhoudskosten TEO voor type 2A op regel 46 gecorrigeerd: hierin waren de posten "in en uitlaat" vergeten mee te nemen.

CAPEX

Variant 1A - Indirecte levering - Open TEO			
Onderdelen	Eenheid	Kosten per eenheid	Kosten
TEO			
Inlaat & uitlaat put	st.	1 €	1.100,000 €
Leidingwerk	st.	800,000 €	800,000 €
Kruising primaire waterkering	st.	1 €	600,000 €
SKID	st.	5 €	312,000 €
Vacuuminstallatie	st.	1 €	200,000 €
Aanzuigpompen	st.	2 €	80,000 €
Technische Ruimte	m2	1350 €	822 €
Gebouw	m2	1350 €	150 €
Aankopen grond	KW	15000 €	547,5 €
Warmtepomp	KVA	15000 €	205 €
Hooflveerdeeelinrichting incl trafb, noodstroom	st.	5 €	60,000 €
WKO warmtewisselaars	st.	5 €	80,000 €
WKO distributiepompen	st.	1 €	10.100,000 €
WKO leidingwerk (11,2 km)	st.	30 €	240,000 €
WKO-dubbelten	st.	2 €	500,000 €
Kruising secundaire waterkering (GFT)	st.	2 €	500,000 €
Totaal			€ 36.019.700

Variant 1B - Indirecte levering - Gesloten TEO			
Onderdelen	Eenheid	Kosten per eenheid	Kosten
TEO			
Inlaat & uitlaat put	st.	1 €	1.100,000 €
Perspompen in inlaatput	st.	2 €	400,000 €
Leidingwerk	st.	1 €	400,000 €
Warmtewisselaar	KW	15000 €	320 €
Betonnenbak voor wisselaar	st.	100 €	65,000 €
Leidingwerk	st.	1 €	500,000 €
Kruising primaire waterkering	st.	1 €	180,000 €
Perspompen secundair circuit	m2	2 €	822 €
Technische Ruimte	m2	1200 €	150 €
Gebouw	KW	15000 €	547,5 €
Aankopen grond	KVA	15000 €	205 €
Hooflveerdeeelinrichting incl trafb, noodstroom	st.	2 €	60,000 €
WKO warmtewisselaars	st.	2 €	80,000 €
WKO distributiepompen	st.	1 €	5.100,000 €
WKO leidingwerk (3,9 km)	st.	11 €	240,000 €
WKO-dubbelten	st.	2 €	400,000 €
Kruising secundaire waterkering (GFT)	st.	2 €	400,000 €
Totaal			€ 36.233.900

Variant 2A - Directe levering - Open TEO			
Onderdelen	Eenheid	Kosten per eenheid	Kosten
TEO			
Inlaat & uitlaat put	st.	8 €	1.100,000 €
Leidingwerk	st.	8 €	800,000 €
Kruising primaire waterkering	st.	8 €	600,000 €
SKID	st.	43 €	312,000 €
Vacuuminstallatie	st.	8 €	200,000 €
Aanzuigpompen	st.	16 €	80,000 €
Technische Ruimte	m2	2250 €	816 €
Gebouw	m2	2250 €	150 €
Aankopen grond	KW	15000 €	548 €
Warmtepomp	KVA	15000 €	205 €
Hooflveerdeeelinrichting incl trafb, noodstroom	st.	1 €	24,500 €
Gas aansluiting	st.	1 €	24,500 €
Plek-Backup ketel	KW	16200 €	497 €
Totaal			€ 57.832.900

Variant 2B - Directe levering - Gesloten TEO			
Onderdelen	Eenheid	Kosten per eenheid	Kosten
TEO			
Inlaat & uitlaat put	st.	1 €	1.100,000 €
Perspompen in inlaatput	st.	2 €	400,000 €
Leidingwerk	st.	1 €	400,000 €
Warmtewisselaar	KW	15000 €	320 €
Betonnenbak voor wisselaar	st.	100 €	65,000 €
Leidingwerk	st.	1 €	500,000 €
Kruising primaire waterkering	st.	1 €	500,000 €
Perspompen secundair circuit	st.	2 €	180,000 €
Technische Ruimte	m2	1150 €	848 €
Gebouw	m2	1150 €	150 €
Aankopen grond	KW	15000 €	548 €
Warmtepomp	KVA	15000 €	205 €
Hooflveerdeeelinrichting incl trafb, noodstroom	st.	205 €	3.075,000 €
Totaal			€ 27.392.900

Bijlage 7: Oorspronkelijke CAPEX en OPEX getallen uit RHDHV rapportage

Open



OPEX

	Variant 1A - Indirecte levering - Open TEO			
	Eenhed	Percentage	Investeringskosten	Bron
Onderhoud				Opmerkingen
Warmevoedrachstation	%/jaar	3	€ 1.109.700,00	PBL 2019 Vesta Maas 4.0
Installaties in warmtenetten	%/jaar	3	€ 3.775.000,00	PBL 2019 Vesta Maas 4.0
Transportleidingen	%/jaar	3	€ 12.500.000,00	PBL 2019 Vesta Maas 4.0
Warmtepompen	%/jaar	3,5	€ 8.212.500,00	PBL 2019 Vesta Maas 4.0
WKO	%/jaar	2	€ 7.200.000,00	PBL 2019 Vesta Maas 4.0
TEO	%/jaar	3	€ 3.020.000,00	PBL 2019 Vesta Maas 4.0
Administratie	%/jaar	3	€ 1.109.700,00	PBL 2019 Vesta Maas 4.0
Installaties in warmtenetten	%/jaar	3	€ 3.775.000,00	PBL 2019 Vesta Maas 4.0
Warmtepompen	%/jaar	2,5	€ 8.212.500,00	PBL 2019 Vesta Maas 4.0
Totaal Onderhoud & Administratie			€ 1.395.432	
Elektra				
WKO	€/kWh	36.374.793	€ 0,0830	CBS, Aardgas en elektrici
WKO	€/kWh	8.588.703	€ 0,0830	CBS, Aardgas en elektrici
TEO	€/kWh	234.789	€ 0,0830	CBS, Aardgas en elektrici
Totaal Elektra			€ 3.751.468	
Totaal			€ 5.146.900	
Onderhoud				Opmerkingen
Warmevoedrachstation	%/jaar	3	€ 896.400,00	PBL 2019 Vesta Maas 4.0
Installaties in warmtenetten	%/jaar	3	€ 3.355.000,00	PBL 2019 Vesta Maas 4.0
Transportleidingen	%/jaar	3	€ 7.300.000,00	PBL 2019 Vesta Maas 4.0
Warmtepompen	%/jaar	3,5	€ 8.212.500,00	PBL 2019 Vesta Maas 4.0
WKO	%/jaar	2	€ 2.640.000,00	PBL 2019 Vesta Maas 4.0
TEO	%/jaar	3	€ 2.640.000,00	PBL 2019 Vesta Maas 4.0
Administratie	%/jaar	3	€ 996.400,00	PBL 2019 Vesta Maas 4.0
Installaties in warmtenetten	%/jaar	3	€ 3.355.000,00	PBL 2019 Vesta Maas 4.0
Warmtepompen	%/jaar	2,5	€ 8.212.500,00	PBL 2019 Vesta Maas 4.0
Totaal Onderhoud & Administratie			€ 1.212.834	
Elektra				
WKO	€/kWh	36.374.793	€ 0,0830	CBS, Aardgas en elektrici
WKO	€/kWh	2.930.672	€ 0,0830	CBS, Aardgas en elektrici
TEO	€/kWh	1.327.832	€ 0,0830	CBS, Aardgas en elektrici
Totaal Elektra			€ 3.372.864	
Totaal			€ 4.585.698	
Onderhoud				Opmerkingen
Warmevoedrachstation	%/jaar	3	€ 1.836.000,00	PBL 2019 Vesta Maas 4.0
Installaties in warmtenetten	%/jaar	3	€ 3.075.000,00	PBL 2019 Vesta Maas 4.0
Transportleidingen	%/jaar	3	€ 11.200.000,00	PBL 2019 Vesta Maas 4.0
Warmtepompen	%/jaar	3,5	€ 8.212.500,00	PBL 2019 Vesta Maas 4.0
WKO	%/jaar	3	€ 16.296.000,00	PBL 2019 Vesta Maas 4.0
TEO	%/jaar	12,5	€ 8.075.900,00	€ 1.009.488 RHDHV Database
Administratie	%/jaar	3	€ 1.836.000,00	PBL 2019 Vesta Maas 4.0
Installaties in warmtenetten	%/jaar	3	€ 3.075.000,00	PBL 2019 Vesta Maas 4.0
Warmtepompen	%/jaar	2,5	€ 8.212.500,00	PBL 2019 Vesta Maas 4.0
Piek/backup ketel	%/jaar	2,5	€ 8.075.900,00	€ 201.898 RHDHV Database
Totaal Onderhoud & Administratie			€ 2.621.778	
Elektra				
Warmtepompen	€/kWh	33.343.560	€ 0,0830	CBS, Aardgas en elektrici
TEO	€/kWh	1.741.657	€ 0,0830	CBS, Aardgas en elektrici
Gas	€/GJ	34.136	€ 10,4800	CBS, Aardgas en elektrici
Totaal Elektra & Gas			€ 3.269.613	
Totaal			€ 5.891.391	
Onderhoud				Opmerkingen
Warmevoedrachstation	%/jaar	3	€ 972.900,00	PBL 2019 Vesta Maas 4.0
Installaties in warmtenetten	%/jaar	3	€ 3.075.000,00	PBL 2019 Vesta Maas 4.0
Transportleidingen	%/jaar	3	€ 1.400.000,00	PBL 2019 Vesta Maas 4.0
Warmtepompen	%/jaar	3,5	€ 8.212.500,00	PBL 2019 Vesta Maas 4.0
WKO	%/jaar	3	€ 6.260.000,00	PBL 2019 Vesta Maas 4.0
TEO	%/jaar	3	€ 972.900,00	PBL 2019 Vesta Maas 4.0
Administratie	%/jaar	3	€ 972.900,00	PBL 2019 Vesta Maas 4.0
Installaties in warmtenetten	%/jaar	3	€ 3.075.000,00	PBL 2019 Vesta Maas 4.0
Warmtepompen	%/jaar	2,5	€ 8.212.500,00	PBL 2019 Vesta Maas 4.0
Totaal Onderhoud & Administratie			€ 965.624	
Elektra				
Warmtepompen	€/kWh	36.374.793	€ 0,0830	CBS, Aardgas en elektrici
TEO	€/kWh	1.991.747	€ 0,0830	CBS, Aardgas en elektrici
Totaal Elektra			€ 3.184.423	
Totaal			€ 4.149.947	