

# Aquathermie

Arjan van Antwerpen

[a.vanantwerpen@dlvge.nl](mailto:a.vanantwerpen@dlvge.nl)

06-26518700

## Aquathermie

- TEO = Thermische Energie uit Oppervlaktewater
- TEA = Thermische Energie uit Afvalwater
- TED = Thermische Energie uit Drinkwater

Economische potentie in NL (studie IF):

- TEO: 12% of 40%<sup>1</sup> warmtevraag en 54% koudevraag
- TEA: 16% warmtevraag
  
- Verminderen hittestress
- Verbeteren kwaliteit water

<sup>1</sup> = studie CE Delft en Deltares

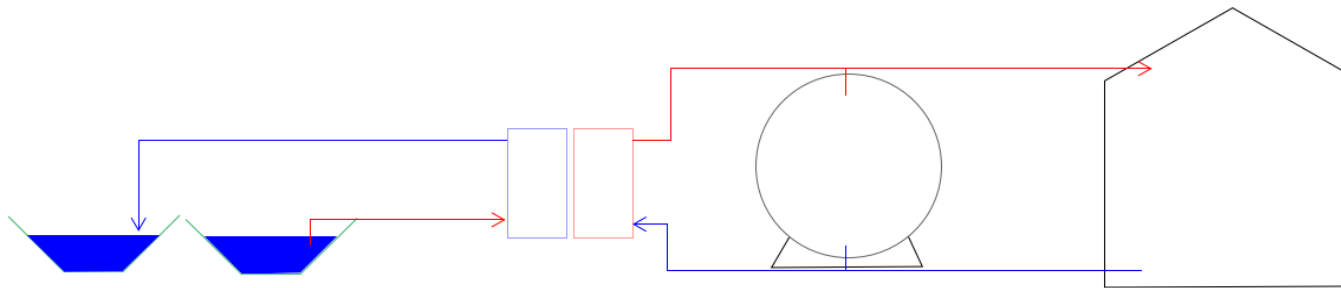
## **Benodigd:**

- **Benodigd**
  - Warmtevraag met laagwaardige temperaturen
  - Warmtepomp
  - Buffer met laagwaardige temperaturen
  - Doorstromend oppervlaktewater
- **Optioneel**
  - Koudevraag
  - WKO/aquifer

# Warmtepomp

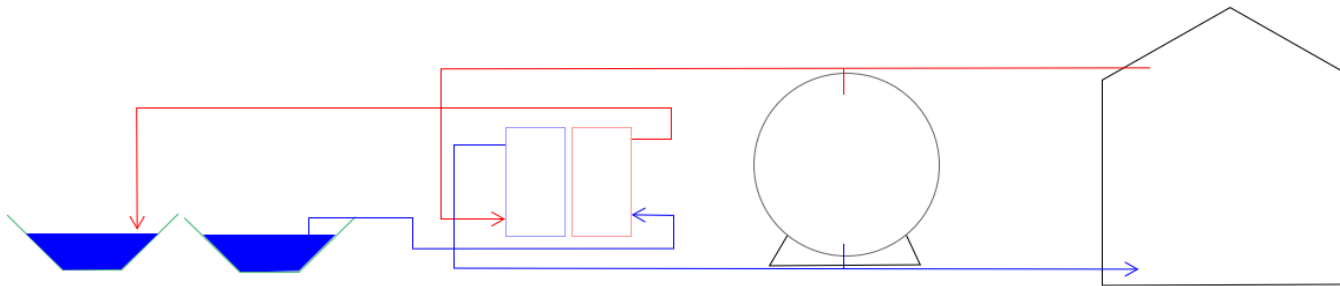
- Regeling
  - Gevoeliger regeling en installatie
  - Beperkte deellast afhankelijk van temperaturen
  - Toegestane koelmiddelen (GWP)
- Rendement
  - Verwarmen:
    - COP = Coëfficiënt Of Performance (5)
  - Koelen:
    - EER = Energy Efficiency Rating (4)
  - Aquifer:
    - SPF BES = Seasonal Performance Factor Bodemenergie systemen
- Carnot
  - $COP = T_c / (T_c - T_v)$  met T in Kelvin ( $0^\circ C = 273 K$ )
    - $T_v = 10, T_c = 60$                       COP = 6,7
    - $T_v = 5, T_c = 40$                         COP = 8,9
    - $T_v = 10, T_c = 25$                       COP = 19,9

# Eenvoudig verwarmen



- WP op alleen oppervlaktewater
  - Kassen met lage warmtevraag
  - Hoog VO, lage temperaturen
  - Maart t/m November
  - Afhankelijk van instraling
  - Andere warmtebron in winter noodzakelijk

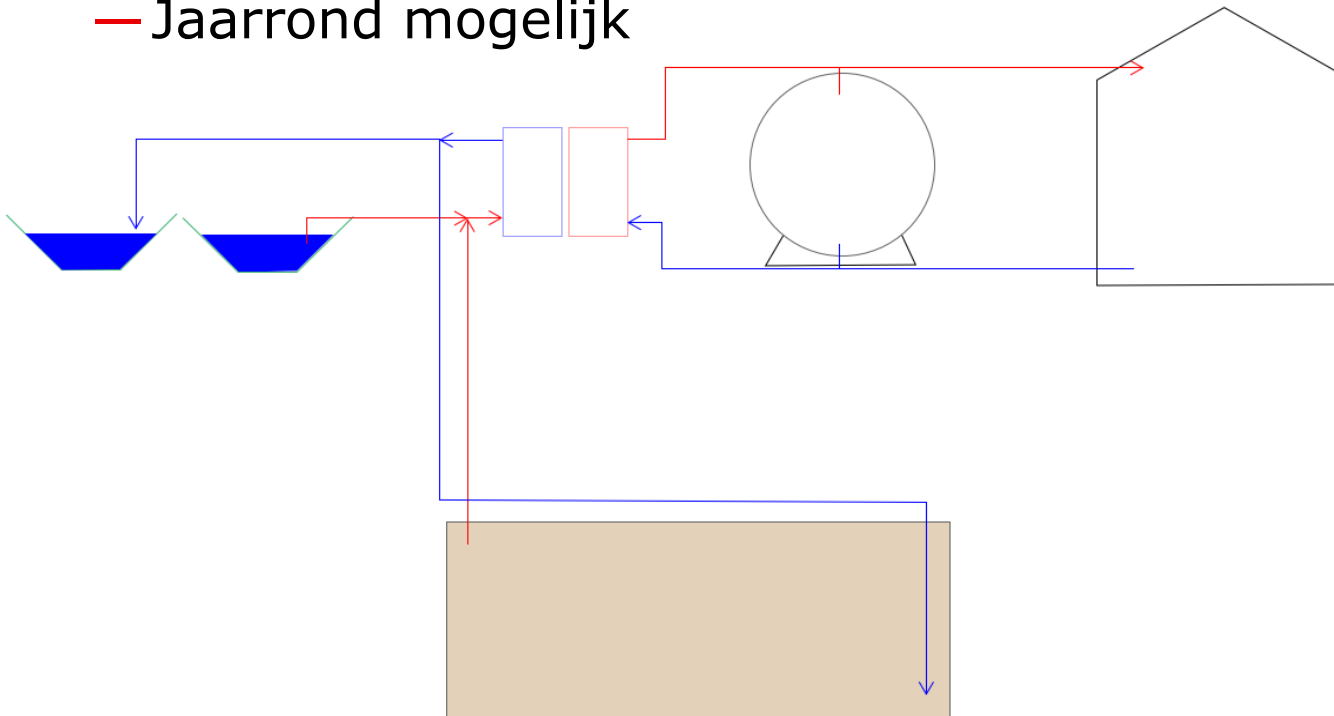
# Eenvoudig koelen



- Koelen op oppervlaktewater
  - Opwarmen van oppervlaktewater
  - Beperkte capaciteit
  - Niet duurzaam

# verwarmen met WKO

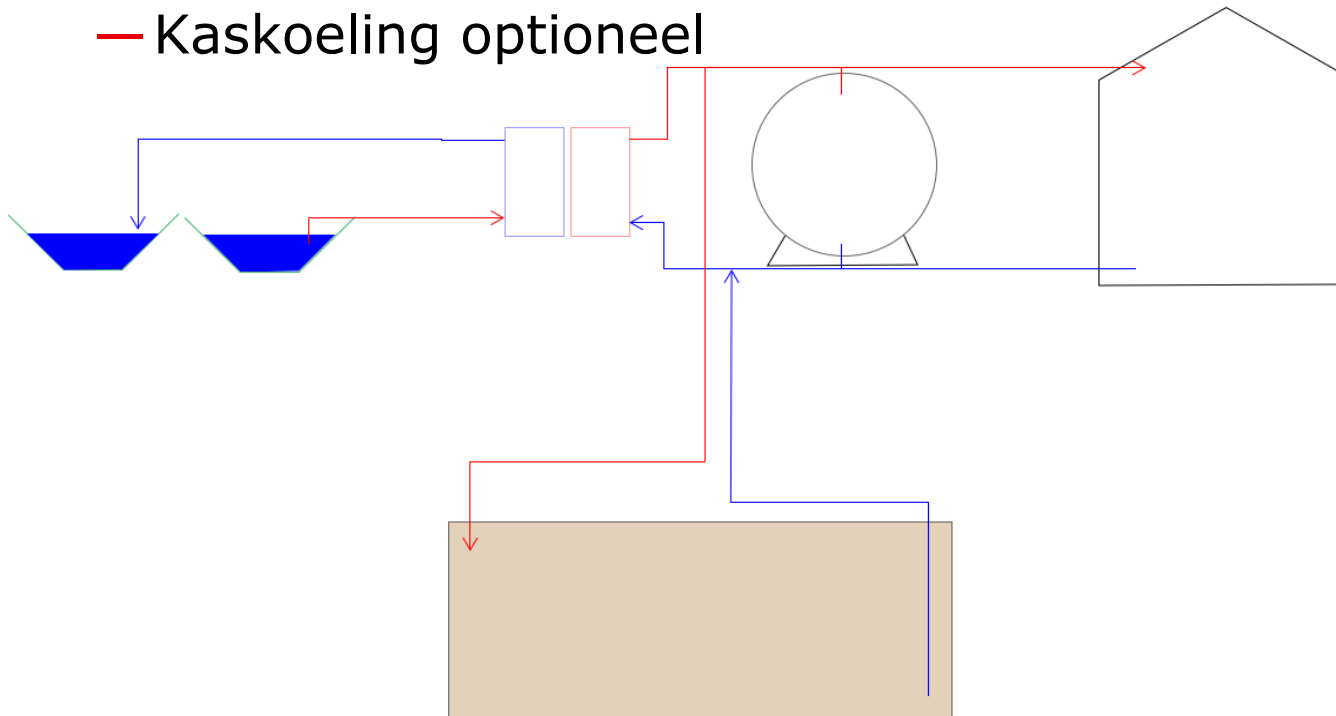
- In combinatie met WKO
  - Meer vermogen
  - Jaarrond mogelijk



# Regenereren WKO

## ■ Regenereren

- Zomerwarmte naar winter
- Kaskoeling optioneel





## Vergelijking duurzame energie

	Vermogen (MW)	Kosten (milj. €)	milj /MW
Aardwarmte	11	25	2,3
Ondiepe geo	6	8	1,3
Aquathermie	2	0,6	0,3

- Investering voor 2 MW
  - Warmtepomp: € 400.000,-
  - Aquifer: € 200.000,-

## Warmtevracht

$$WOC = Q \cdot \Delta T \cdot \rho_w \cdot c_p + Z \cdot A \cdot \Delta T'$$

WOC	Warmte Onttrekkings Coëfficiënt		W
Q	Richtingsonafhankelijke stroming		m <sup>3</sup> /s
$\Delta T$	Temperatuurverschil onttrekking		°C
P	soortelijk gewicht water	998	kg/m <sup>3</sup>
c	soortelijke warmte water	4.145	J/kg/ °C
Z	warmteoverdracht oppervlakte		40 W/m <sup>2</sup> / °C
A	Oppervlakte		m <sup>2</sup>
$\Delta T'$	Temperatuurverschil water - lucht		°C

Maximale stroomsnelheid:

- Primaire boezem: 0,3 m/s
- Primaire polder en secundair water: 0,2 m/s

## Instraling

$$Opw = \frac{\Phi \cdot R}{\rho_w \cdot c_p \cdot d} \cdot 3600$$

Opw	Opwarming		°C/u
$\Phi$	Instraling		W
R	Rendemente opgenomen straling		%
P	soortelijk gewicht water	998	kg/m <sup>3</sup>
c	soortelijke warmte water	4.145	J/kg/ °C
d	diepte		m

$$Opw = \frac{500 \cdot 0,6}{998 \cdot 4145 \cdot 0,1} \cdot 3600 = 2,6$$

## Energie

### ■ Watergang

- 4 m breed; 0,5 m diep = 2,0 m<sup>2</sup>
- Stroomsnelheid 0,02 m/s = 144 m<sup>3</sup>/u
- $\Delta T = 6 \text{ }^\circ\text{C}$
- Energie:  $144 \times 6 \times 4,2 / 3,6 = 1.008 \text{ kW}$

### ■ Warmtepomp

- 2.000 kW warmte -> 400 kW elektrisch (COP = 5)
- $1.600 \times 3,6 / (6 \times 4,2) = 229 \text{ m}^3/\text{u}$

### ■ Oppervlak

- $229 - 144 = 85 \text{ m}^3/\text{u}$
- $24 \times 85 / 2,0 = 1.014 \text{ m}$  (4.059 m<sup>2</sup>)
- $(1.600 - 1.008) = 592 \text{ kW} \times 24 / 8 = 1.756 \text{ kW}$
- $1.756 / 4.059 \text{ m}^2 = 437 \text{ W/m}^2$

# Kosten

## GAS

Landelijk	18	€/m3/uur
leverancier	10	€/m3/uur
regionaal	27	€/m3/uur
regionaal vastrecht	1160	€/jr
meetkosten	2400	€/jr
EB ODE eerste staffel	0,06588	€/m3
rest	0,03242	€/m3
commodity	0,17	€/m3

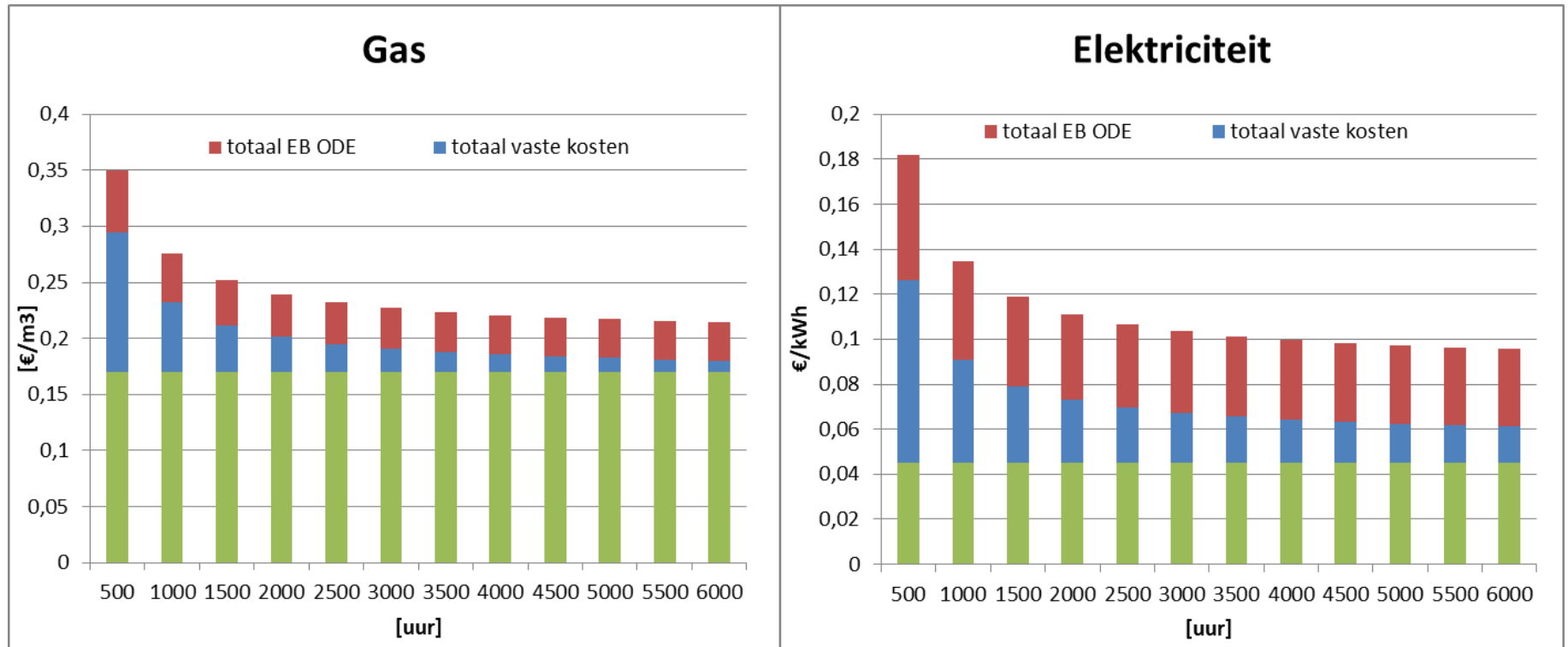
Gasprijs = 0,27 € voor 9,0 kWh => 0,03 €/kWh  
 Elektriciteit => 0,09 €/kWh

COP van 5 => 0,15 € om deze warmte met gas te realiseren

## Elektriciteit

max vermogen per jaar	12,84	€/kWe/jr
max vermogen per maand	1,52	€/kWe/mnd
vaste kosten	2.500	€/jr
meetkosten	2.000	€/jr
EB ODE eerste staffel	2.334	€/50000 kWh
var transport	0,010	€/kWh
energiebelasting	0,014	€/kWh
ODE	0,021	€/kWh
commodity	0,045	€/kWh

# kosten



Uit rapport:  
"glastuinbouw  
fossielvrij"

Uren	1,000	2,000	3,000	4,000	5,000	6,000	7,000
Ketel	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23
Ketel met CO <sub>2</sub>	0.13	0.13	0.13	0.13			
WKK	0.24	0.18	0.16	0.16	0.17	0.18	0.19
WKK met CO <sub>2</sub>	0.10	0.01	-0.02	-0.03			
WKK met EV	0.04	-0.03	-0.04	-0.05	-0.04		
Geo	1.00	0.53	0.35	0.28	0.21	0.18	0.15
WP (na Geo) (COP=5)	0.22	0.17	0.16	0.15	0.15	0.15	0.15
HT	0.29	0.22	0.20	0.19	0.18	0.17	0.17
LT+WP	0.35	0.27	0.24	0.23	0.22	0.22	0.22
Opp.+WKO+WP (COP=4,5)	0.32	0.23	0.20	0.19	0.18		
Kaswarmte+WP (COP=4)	0.33	0.27	0.25	0.24	0.24	0.24	
Kasw.+WKO+WP (COP=4)	0.41	0.31	0.28	0.26	0.25		

De Tabel laat duidelijk zien dat WKK met veel teruglevering zeer goedkope warmte oplevert, maar dat ook Hoogtemperatuur warmte uit geothermie goedkope warmte kan leveren, mits er veel equivalente vollasturen worden gemaakt.

Onder het transitie-scenario ziet de Tabel met variabele warmteprijs er als onderstaand uit:

Uren	1,000	2,000	3,000	4,000	5,000	6,000	7,000
Ketel	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53
Ketel met CO <sub>2</sub>	0.35	0.35	0.35	0.35			
WKK	0.71	0.64	0.63	0.63	0.64	0.65	0.66
WKK met CO <sub>2</sub>	0.43	0.33	0.31	0.30			
WKK met EV	0.31	0.25	0.24	0.24	0.25		
Geo	1.58	0.79	0.53	0.40	0.32	0.26	0.23
WP (na Geo) (COP=5)	0.27	0.23	0.21	0.21	0.20	0.20	0.20
HT	0.44	0.33	0.30	0.28	0.27	0.26	0.25
LT+WP	0.47	0.37	0.34	0.32	0.31	0.31	0.31
Opp.+WKO+WP (COP=4,5)	0.39	0.30	0.27	0.25	0.24		
Kaswarmte+WP (COP=4)	0.39	0.34	0.32	0.31	0.31		
Kasw.+WKO+WP (COP=4)	0.47	0.38	0.35	0.33	0.32		

In het transitie-scenario zijn er forse kosten verbonden aan het gebruik van fossiele energie, waardoor deze uit de markt geprijsd wordt. Geothermie wordt qua variabele kosten aantrekkelijk, vooral wanneer daar een warmtepomp bij geplaatst wordt.

## Rapport Koppert-Cress

	Dagen	Draaiuren	Energie [GJ]	Slootwatertemperatuur [°C]			Retourtemperatuur [°C]			Vermogen [kW]		
				MIN	GEM	MAX	MIN	GEM	MAX	MIN	GEM	MAX
november 2017	30	529	145	4,5	7,7	9,8	5,9	9,1	24,0		56	177
december 2017	31	188	-	1,1	5,2	8,8	5,8	20,0	29,0			
januari 2018	31	281	45	1,6	5,3	8,4	5,8	18,0	28,2	-	17	165
februari 2018	28	0	-	1,8	4,0	6,0	7,2	23,9	27,6	-	-	-
maart 2018	31	327	89	2,1	6,2	10,7	5,9	14,8	26,3	-	33	236
april 2018	30	363	317	8,1	13,1	21,1				-	122	542
mei 2018	31	583	812	9,5	16,5	24,3	9,3	15,4	26,3	-	303	826
juni 2018	30	498	802	13,4	18,3	23,1	11,4	16,6	27,6	-	310	747
juli 2018	31	406	431	18,1	22,3	26,9	15,7	22,2	27,7	-	161	1.366
augustus 2018	31	259	174	15,7	20,3	25,9	16,2	22,3	27,1	-	65	401
september 2018	30	300	385	11,0	15,8	20,3	9,6	16,5	27,1	-	148	595
oktober 2018	31	538	401	6,0	11,9	16,0	5,9	11,3	17,4	-	150	470
Totaal		3.555	3.455									

### Relevante specificaties

- Debiet slootwaterpomp = 160 m<sup>3</sup>/hr
- Vermogen slootwaterpomp = 13,6 kW
- Debiet bronnen = 160 m<sup>3</sup>/hr
- Temperatuur koude bron = circa 10°C

1 GJ/uur = 0,28 MW = 280 kW  
235 meter tussen in- en uitlaat

### Het resultaat over de referentieperiode:

- Bedrijfsuren aquathermie installatie: = 3.555 uur
- Aan oppervlaktewater onttrokken warmte: = 3.455 GJ
- Aardgas-equivalent (o.b.v. 31,65 MJ/m<sup>3</sup>) = 113.762 GJ
- Elektriciteitsverbruik (3.555 uur x 13,6 kW) = 48.348 kWh = 174 GJ
- COP = 20
- Besparing inkoop gas (o.b.v. € 0,25 / m<sup>3</sup>) = € 28.440,-
- Extra elektriciteitskosten (o.b.v. € 0,09 / kWh) = € 4.351,-
- Netto kostenbesparing = € 24.089,-



## Studie Perkgoed

- Areaal: 20.000 m<sup>2</sup>
- Gasverbruik: 10 m<sup>3</sup> / m<sup>2</sup> / jaar
- Energiebehoefte: 6.330 GJ / jaar

Bron: 60 m<sup>3</sup>/uur, WP 700 kW  
Waterloop 200 m

		Algemeen	Gasgestookt	Aquathermie
Oppervlakte	[m <sup>2</sup> ]	20.000		
Gasverbruik	[m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ]		10	
	[m <sup>3</sup> ]		200.000	
Verbrandingswaarde aardgas	[MJ/m <sup>3</sup> ]		31,65	
Energiebehoefte	[GJ]	6.330		
COP warmtepomp	[/]			5
Energie uit aquathermie	[GJ]			1.055
Energie uit warmtepomp	[GJ]			5.275
Elektriciteitsverbruik warmtepomp	[kWh]			293.055
COP aquathermie	[/]			20
Elektriciteitsverbruik aquathermie	[kWh]			73.264
Gasprijs	[€/m <sup>3</sup> ]		€ 0,45	
Elektriciteitsprijs	[€/kWh]			€ 0,10
Energiekosten	[€/yr]		€ 90.000,00	€ 36.632
Extra investering	[€]			€ 460.500
Looptijd financiering	[yrs]			10,00
Afschrijvingskosten	[€/yr]			€ 46.050
Gemiddelde rente	[%]			2,50%
Rentekosten	[€/yr]			€ 5.756
Kosten totaal	[€/yr]		€ 90.000	€ 88.438

Pompinstallatie aquathermie	[€]	€	22.500
WKO installatie (bronnen)	[€]	€	190.500
Warmtepomp installatie	[€]	€	165.000
Elektra / Besturing	[€]	€	65.000
Overige kosten	[€]	€	17.500
<b>Totaal</b>	<b>[€]</b>	<b>€</b>	<b>460.500</b>

	Dagen	GEM sloopwatertemp	GEM retourtemp	Draaiuren per dag	Draaiuren per maand	Energie
		[°C]	[°C]	[hrs]	[hrs]	[GJ]
Mei	31,00	16,51	12,00	24,00	744,00	843,59
Juni	30,00	18,30	12,00	24,00	720,00	1.140,01
Juli	31,00	22,29	12,00	24,00	744,00	1.923,61
Augustus	31,00	20,30	12,00	24,00	744,00	1.551,33
<b>Totaal</b>					<b>2952</b>	5.458,55

1,85 GJ/uur = 514 kW  
 19-12=7 °C geeft 63 m<sup>3</sup>/uur  
 200 x 0,5 x 3 = 300 m<sup>3</sup>  
 4,7 uur  
 200/4,7 = 43 m/u = 0,01 m/s

## Economie

### ■ Investeringsen

- WP
- Aquifer
  - Heel afhankelijk van de omstandigheden
- Hoger VO
- Vergunningen

### ■ Jaarkosten

- Energiekosten -> SDE++?
- Schoonmaak leidingen
- Onderhoud warmtepomp

## Andere factoren

- WKK
- Koeling LED
- Cascade regelingen
- CO<sub>2</sub>
  
- Vergunningen
  - Waterschap
    - Koudepluim
    - Afkalving
    - Vervuiling

