



1

2

3

4

5

6

7

CONCEPTADVIES SDE++ 2022

Energie uit water

8

9

10 **Koen Smekens, Bart in 't Groen, Luuk Beurskens,**

11 **Sander Lensink**

12 **22 april 2021**

13

14



15

16

17

PBL

18 **Colofon**

19

20 **Conceptadvies SDE++ 2022, Energie uit water**

21 © PBL Planbureau voor de Leefomgeving

22 Den Haag, 2021

23

24 PBL-publicatienummer: 4383

25

26 **Contact**

27 sde@pbl.nl

28

29 **Auteurs**

30 Bart in 't Groen (DNV); Luuk Beurskens, Koen Smekens (TNO), Sander Lensink (PBL)

31

32 **Tekstcorrectie**

33 Uitgeverij PBL

34

35 **Redactie figuren**

36 Beeldredactie PBL

37

38 Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding:

39 Koen Smekens, Bart in 't Groen, Luuk Beurskens, Sander Lensink (2021), Conceptadvies

40 SDE++ 2022, Energie uit water, Den Haag: PBL.

41

42 Het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) is het nationale instituut voor strategische be-
43 leidsanalyses op het gebied van milieu, natuur en ruimte. Het PBL draagt bij aan de kwaliteit
44 van de politiek-bestuurlijke afweging door het verrichten van verkenningen, analyses en eva-
45 luaties waarbij een integrale benadering vooropstaat. Het PBL is voor alles beleidsgericht.

46 Het verricht zijn onderzoek gevraagd en ongevraagd, onafhankelijk en wetenschappelijk ge-
47 fundeerd.

Inhoud

49	1	Inleiding	4
50	2	Energie uit water	5
51	2.1	Inleiding	5
52	2.2	Waterkracht, valhoogte \geq 50 cm	5
53	2.2.1	Kostenbevindingen	5
54	2.3	Waterkracht, valhoogte \geq 50 cm, renovatie	6
55	2.3.1	Kostenbevindingen	6
56	2.4	Waterkracht, valhoogte $<$ 50 cm	7
57	2.4.1	Kostenbevindingen	7
58	2.5	Osmose	7
59	2.5.1	Kostenbevindingen	8
60	2.6	Aquathermie – Thermische energie uit oppervlaktewater (TEO), geen basislast	8
61	2.6.1	Kostenbevindingen	11
62	2.7	Aquathermie – Thermische energie uit oppervlaktewater (TEO), basislast	11
63	2.7.1	Kostenbevindingen	12
64	2.8	Aquathermie – Thermische energie uit oppervlaktewater voor directe toepassing (TEO-	
65	d)	12	
66	2.8.1	Kostenbevindingen	13
67	2.9	Aquathermie – Thermische energie uit afvalwater (TEA)	13
68	2.9.1	Kostenbevindingen	15
69	2.10	Vragen en overwegingen	16
70		Bijlage A Kostenbevindingen Aquathermie	17
71		Bijlage B Kostenopbouw referentie-installaties TEO/TEO-d/TEA	19
72			
73			

1 Inleiding

74

75 Het ministerie van Economische Zaken en Klimaat (EZK) heeft PBL gevraagd advies uit bren-
76 gen over de openstelling van de SDE++ in 2022. Daartoe brengt PBL advies uit over basis-
77 bedragen, correctiebedragen, basisenergieprijzen en financieel-economische parameters die
78 hiermee samenhangen. PBL heeft hiervoor ondersteuning gekregen van TNO en DNV.

79

80 Dit rapport beschrijft de bevindingen voor de SDE++-categorieën die betrekking hebben op
81 energie uit water.

82

83 **Veranderingen t.o.v. eindadvies SDE++ 2021**

84 Dit conceptadvies bevat geen bijdrage over Thermische Energie uit Mijwater (TEM). Ter toe-
85 lichting verwijzen we naar de kamerbrief¹ van 22 februari 2021 van het ministerie van EZK:
86 *“Het potentieel voor TEM-projecten is in Nederland beperkt. Daarbij geldt dat er voor de*
87 *korte termijn slechts één mogelijk project voorzien is dat gaat om de uitbreiding van een be-*
88 *staand project. De systematiek in de SDE++ is er echter op gericht om de ontwikkeling van*
89 *technieken over meerdere jaren heen te ondersteunen en dus categorieën in de regel in*
90 *meerdere rondes open te stellen. Een substantieel aantal projecten is eveneens normaliter*
91 *nodig om tot een goede uitvoering en maatvoering (bepaling subsidiebedragen) in de rege-*
92 *ling te komen. Uitgewerkt zal daarom worden of het effectief is om dergelijke eenmalige pro-*
93 *jecten vanuit het Rijk te ondersteunen en zo ja hoe (op kosteneffectieve wijze en rekening*
94 *houdend met het daarvoor geldende staatsteunkader).”* Verder was er geen aanleiding om de
95 data ten opzichte van het vorige advies aan te passen, de weergegeven informatie staat wel
96 open voor reactie vanwege de marktpartijen.

97

98 **Marktconsultatie**

99 Belanghebbenden kunnen schriftelijk een reactie geven op dit conceptadvies en de onderlig-
100 gende kostenbevindingen. Deze schriftelijke reactie dient uiterlijk 21 mei bij het PBL binnen
101 te zijn. Mocht een aanvullend gesprek door het PBL gewenst worden, dan zal dit tussen 7
102 juni en 2 juli worden gehouden.

103

104 Op basis van schriftelijke reacties uit de markt en marktconsultatiegesprekken stelt het PBL
105 vervolgens het uiteindelijke eindadvies op voor EZK. De minister van EZK besluit uiteindelijk
106 aan het eind van het jaar over de openstelling van de nieuwe SDE++-regeling, de open te
107 stellen categorieën en de bijbehorende basisbedragen.

108

109 Nadere informatie is te vinden via de website: www.pbl.nl/sde.

110

111

¹ [Kamerbrief over openstelling Stimulering Duurzame Energieproductie en Klimaattransitie \(SDE++\) 2021 | Kamerstuk | Rijksoverheid.nl](https://www.rijksoverheid.nl/documenten/kamerstukken/2021/02/22/kamerbrief-over-openstelling-stimulering-duurzame-energieproductie-en-klimaattransitie-sde-2021); beschikbaar via <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/kamerstukken/2021/02/22/kamerbrief-over-openstelling-stimulering-duurzame-energieproductie-en-klimaattransitie-sde-2021>

2 Energie uit water

112

2.1 Inleiding

113

114 In dit hoofdstuk beschrijven we de bevindingen voor energie uit water, waarbij we ingaan op
115 het kostenonderzoek, de referentie-installaties en de adviezen van de basisbedragen. We
116 maken daarbij onderscheid in de volgende categorieën:

117

- Waterkracht, valhoogte ≥ 50 cm

118

- Waterkracht, valhoogte ≥ 50 cm, renovatie

119

- Waterkracht, valhoogte < 50 cm

120

- Osmose

121

- Aquathermie – Thermische energie uit oppervlaktewater (TEO), geen basislast

122

- Aquathermie – Thermische energie uit oppervlaktewater (TEO), basislast

123

- Aquathermie – Thermische energie uit oppervlaktewater voor directe toepassing (TEO-d)

124

- Aquathermie – Thermische energie uit afvalwater (TEA)

125

126

127

In dit conceptadvies evalueren we, na de beschouwing van de ontwikkelingen op dit gebied, de kostenstructuur voor projecten op basis van energie uit water in Nederland. Achtereenvolgend komen de referentiesystemen aan de orde, gevolgd door de kostenbevindingen en ten slotte de voorgestelde basisbedragen voor SDE++ 2022.

128

129

130

2.2 Waterkracht, valhoogte ≥ 50 cm

131

132

Nederland is een relatief vlak land en daardoor is het verval van rivieren in de Nederlandse delta gering. Toch zijn bestaande civiele werken (kunstwerken) in rivieren soms geschikt om voldoende valhoogte te creëren om te gebruiken voor elektriciteitsopwekking in waterkrachtcentrales. In de praktijk varieert de valhoogte doorgaans van 3 tot 6 meter, maar deze kan oplopen tot 11 meter in uitzonderlijke situaties, zoals bij enkele sluizen. Voor deze categorie is de referentie-installatie onveranderd gebaseerd op een voor Nederland gemiddelde valhoogte (minder dan 5 meter).

133

134

135

136

137

138

139

140

De spreiding in projectkosten voor deze categorie is onverminderd groot. Met het toenemende aantal SDE++-aanvragen, nemen ook de beschikbare data toe waarop de specifieke projectkosten gebaseerd worden.

141

142

143

2.2.1 Kostenbevindingen

144

145

De technisch-economische parameters waarop het basisbedrag is gebaseerd zijn te vinden in tabel 2-1. Ten opzichte van het vorige advies zijn er geen wijzigingen doorgevoerd. In tabel 2-2 is het basisbedrag weergegeven.

146

147

148

149 **Tabel 2-1. Technisch-economische parameters waterkracht, valhoogte ≥ 50 cm**

Parameter	Eenheid	Eindadvies SDE++ 2021	Conceptadvies SDE++ 2022
Installatiegrootte	[MW]	1,0	1,0
Vollasturen	[uur/jaar]	5700	5700
Investeringskosten	[€/kW]	6000	6000
Vaste O&M-kosten	[€/kW/jaar]	125	125
Variabele O&M-kosten	[€/kWh]	0,0019	0,0019

150 **Tabel 2-2. Overzicht van subsidieparameters waterkracht, valhoogte ≥ 50 cm**

Parameter	Eenheid	Eindadvies SDE++ 2021	Conceptadvies SDE++ 2022
Basisbedrag	[€/kWh]	0,1321	0,1321
Looptijd subsidie	[jaar]	15	15

151 **2.3 Waterkracht, valhoogte ≥ 50 cm, renovatie**

152 Voor deze categorie wordt ervan uitgegaan dat bij de referentie-installatie de turbines ver-
 153 vangen zullen worden door visvriendelijke(re) varianten. Een dergelijke innovatieve turbine
 154 lijkt voornamelijk de voornaamste manier om aan de strengere eisen op het gebied van het
 155 voorkomen van vissterfte te voldoen. Het is zeer waarschijnlijk dat bij een dergelijke renova-
 156 tie ook (een deel van) de elektrische infrastructuur, zoals de generator, transformatoren en
 157 bediening moet worden aangepast. Er wordt aangenomen dat de benodigde aanpassingen
 158 aan de civiele werken (de kunstwerken) nihil zijn. Het in vergelijking met de categorie *Wa-*
 159 *terkracht, valhoogte ≥ 50 cm* lagere aantal vollasturen is gebaseerd op de vollasturen van
 160 bestaande installaties geschikt voor renovatie.

161 **2.3.1 Kostenbevindingen**

162 Een overzicht van de technisch-economische parameters voor de referentie-installatie staat
 163 in tabel 2-3. Ten opzichte van het vorige advies zijn geen wijzigingen doorgevoerd. In tabel
 164 2-4 is het basisbedrag weergegeven.

165 **Tabel 2-3. Technisch-economische parameters waterkracht, valhoogte ≥ 50 cm, re-**
 166 **novatie**

Parameter	Eenheid	Eindadvies SDE++ 2021	Conceptadvies SDE++ 2022
Installatiegrootte	[MW]	1,0	1,0
Vollasturen	[uur/jaar]	2600	2600
Investeringskosten	[€/kW]	1600	1600
Vaste O&M-kosten	[€/kW/jaar]	80	80
Variabele O&M-kosten	[€/kWh]	0,0019	0,0019

168 **Tabel 2-4. Overzicht van subsidieparameters waterkracht, valhoogte \geq 50 cm, re-**
 169 **novatie**

Parameter	Eenheid	Eindadvies SDE++ 2021	Conceptadvies SDE++ 2022
Basisbedrag	[€/kWh]	0,0975	0,0975
Looptijd subsidie	[jaar]	15	15

170 2.4 Waterkracht, valhoogte < 50 cm

171 Naast het plaatsen van stuwdammen in rivieren, waarbij het gecreëerde verval zorgt voor de
 172 opwekking van elektriciteit uit water, is het ook mogelijk om in vrij stromend water energie
 173 op te wekken. De categorie *Waterkracht, valhoogte < 50 cm* is bedoeld voor technieken zo-
 174 als energie uit getijden of onderzeese stroming en energie uit golven, waarbij de opgewekte
 175 elektriciteit niet zozeer voortkomt uit het verval, maar uit de beweging van het water. Hier-
 176 onder valt ook getijdenstroming door damdoorlatingen met bidirectionele opwekking (on-
 177 shore vrije getijdenstromingsenergie), indien de valhoogte beperkt blijft tot minder dan een
 178 halve meter.

179 2.4.1 Kostenbevindingen

180 In Tabel 2-5 staan de gebruikte technisch-economische parameters voor deze categorie,
 181 waaronder vrije stroming en golfenergie. Ten opzichte van het vorige advies zijn geen wijzi-
 182 gingen doorgevoerd. In tabel 2-6 is het basisbedrag weergegeven.

183 **Tabel 2-5. Technisch-economische parameters waterkracht, valhoogte < 50 cm**
 184

Parameter	Eenheid	Eindadvies SDE++ 2021	Conceptadvies SDE++ 2022
Installatiegrootte	[MW]	1,5	1,5
Vollasturen	[uur/jaar]	3700	3700
Investeringskosten	[€/kW]	5100	5100
Vaste O&M-kosten	[€/kW/jaar]	155	155
Variabele O&M-kosten	[€/kWh]	0,0019	0,0019

185 **Tabel 2-6. Overzicht van subsidieparameters waterkracht, valhoogte < 50 cm.**
 186

Parameter	Eenheid	Eindadvies SDE++ 2021	Conceptadvies SDE++ 2022
Basisbedrag	[€/kWh]	0,1891	0,1891
Looptijd subsidie	[jaar]	15	15

187 2.5 Osmose

188 Voor deze categorie wordt een basisbedrag berekend voor een osmosecentrale, waarbij elek-
 189 triciteit wordt opgewekt door het verschil in zoutconcentratie tussen zout en zoet water.
 190 Hierbij kan gebruik worden gemaakt van zouthoudend industrieel proceswater of zeewater.
 191 De onzekerheid in de kosten van deze categorie is vanwege het vroege stadium van de ont-
 192 wikkeling nog zeer groot.

2.5.1 Kostenbevindingen

In tabel 2-7 zijn de technisch-economische parameters voor osmose weergegeven. Ten opzichte van het vorige advies zijn geen wijzigingen doorgevoerd. In tabel 2-8 is het basisbedrag weergegeven.

Tabel 2-7. Technisch-economische parameters osmose

Parameter	Eenheid	Eindadvies SDE++ 2021	Conceptadvies SDE++ 2022
Installatiegrootte	[MW]	1,0	1,0
Vollasturen	[uur/jaar]	8000	8000
Investeringskosten	[€/kW]	37000	37000
Vaste O&M-kosten	[€/kW/jaar]	213	213
Variabele O&M-kosten	[€/kWh]	0,0019	0,0019

Tabel 2-8. Overzicht van subsidieparameters osmose

Parameter	Eenheid	Eindadvies SDE++ 2021	Conceptadvies SDE++ 2022
Basisbedrag	[€/kWh]	0,5733	0,5733
Looptijd subsidie	[jaar]	15	15

2.6 Aquathermie – Thermische energie uit oppervlaktewater (TEO), geen basislast

Bij thermische energie uit oppervlaktewater wordt warmte met behulp van een warmtewisselaar onttrokken aan het oppervlaktewater. Dit kan zowel stromend als stilstaand oppervlaktewater zijn. De temperatuur van het oppervlaktewater is afhankelijk van het seizoen (in de zomer ligt de temperatuur beduidend hoger dan in de winter) en varieert hiermee typisch tussen de 5 en 20 °C. Gebruikelijk is om de gewonnen thermische energie uit het oppervlaktewater op te slaan in een warmteopslagsysteem (WO-systeem) tijdens de zomer, om zodoende in de winterperiode de opgeslagen warmte door middel van een warmtepomp aan de eindverbruikers te leveren. Door de kleinere temperatuurlift (het verschil tussen de ingaande en uitgaande temperatuur) van de warmtepomp kan deze efficiënter werken. Een WO-systeem is nodig bij deze categorie omdat er anders een warmtepomp ingezet moet worden die een grotere temperatuurlift moet leveren, voornamelijk in de winterperiode, wanneer de temperatuur van het oppervlaktewater laag is en de warmtevraag van de gebouwen het grootst is. Een warmtepomp met een grote temperatuurlift is per definitie minder efficiënt. Het gebruik van een warmtepomp bij een TEO-installatie maakt dat voor de berekening van het basisbedrag voor deze categorie de uiteindelijke warmteafgifte na de warmtepomp leidend is en niet de warmteonttrekking aan het oppervlaktewater of het WO-systeem

TEO kan in combinatie met een warmtenet op twee manieren in de gebouwde omgeving worden toegepast.

In het eerste geval wordt de warmte uit het oppervlaktewater geleverd aan de afnemers die ieder over een individuele warmtepomp beschikken, waarbij de woningen geschikt moeten zijn voor lagetemperatuurverwarming (bijvoorbeeld goed geïsoleerde woningen voorzien van vloerverwarming). Voor tapwater moet in de huidige regelgeving de temperatuur minimaal 60 °C zijn. Hiervoor moet het water op een andere manier extra worden opgewarmd.

229 In het tweede geval, als de ruimteverwarming een hogere temperatuur vraagt, kan een col-
230 lectieve warmtepomp (>500 kWth) worden toegepast. Hier wordt de opgeslagen warmte uit
231 de ondergrond opgewaardeerd met een warmtepomp tot circa 50-75 °C, waarna deze
232 warmte wordt geleverd aan de afnemers. Hierbij is een matige tot goede isolatie van gebou-
233 wen gewenst en is geen of beperkte aanpassing in het afgiftesysteem nodig. Dit systeem ne-
234 men we aan als referentie voor deze categorie.

235
236 Figuur 2-1 geeft een voorbeeld van het referentiesysteem. Dit referentiesysteem voor ther-
237 mische energie uit oppervlaktewater bestaat uit een onttrekkingseenheid die gecombineerd
238 wordt met een WO-systeem en een collectieve warmtepomp. Voor de berekening van het ba-
239 sisbedrag is een Coefficient of Performance² (COP-waarde³) van 3,9 aangenomen voor de
240 warmtepomp, op basis van beschikbare projectdata en een COP-waarde van 3,0 voor het ge-
241 hele systeem, inclusief alle pompen.

242
243 Thermische energie uit oppervlaktewater levert warmte aan een relatief klein, lokaal warm-
244 tenet, waarbij van het warmtevraagprofiel⁴ de TEO geen basislast zal leveren.. In lijn met de
245 andere 'geen basislast'-categorieën voor warmte is voor deze categorie dan ook 3500 vol-
246 lasturen⁵ aangenomen.

247
248 Voor de referentie-installatie voor het conceptadvies SDE++ 2022 gaan we uit van een TEO-
249 systeem waarbij alleen warmte en geen koude wordt geleverd, uitgevoerd met een WO-
250 systeem en een collectieve warmtepomp. We geven als aandachtspunt mee dat bij koudele-
251 vering overstimulering kan plaatsvinden.

252
253 Tevens zijn kosten voor een warmtetransportleiding (700 meter) en een warmteoverdracht-
254 station (WOS, aansluiting op het distributienetwerk) voor de referentie-installatie meegenom-
255 men.

256
257

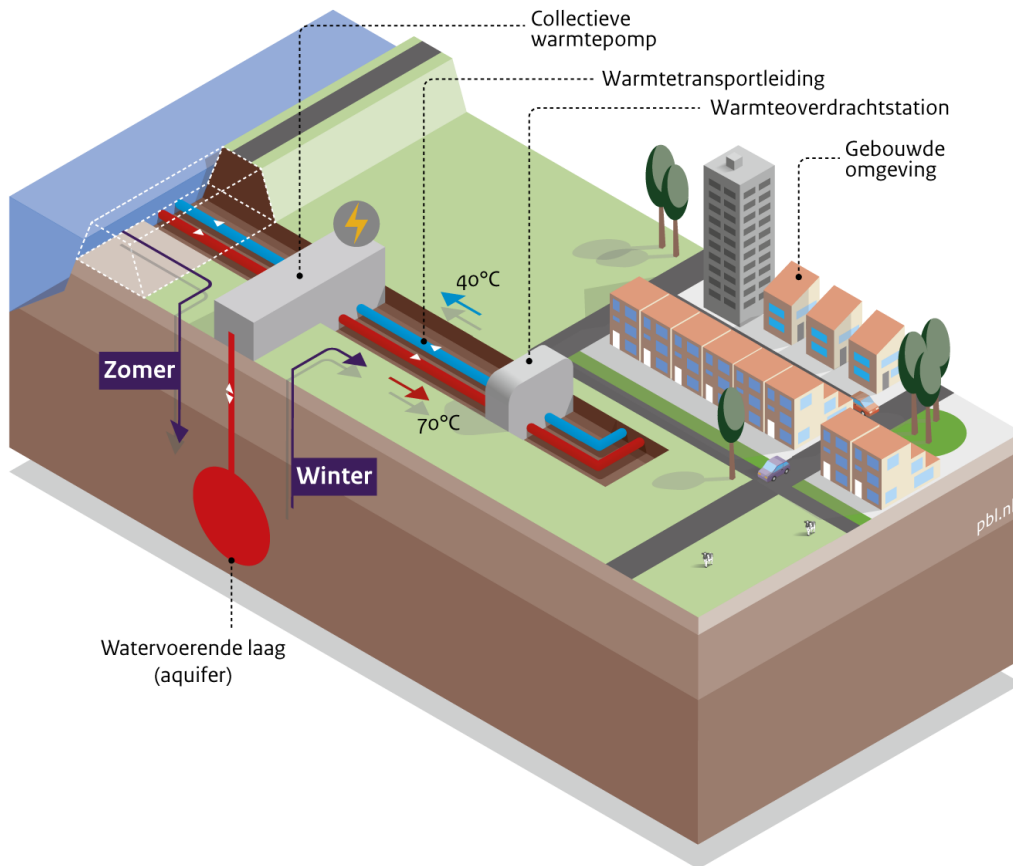
² Zie bijlage A

³ Voor dit advies wordt voor de bepaling van de COP uitgegaan van de Lorenz-cyclus.

⁴ Het warmtevraag profiel van een typisch warmtenet is gelijk aan de vorm van een zogenaamd 'badkuiprofiel', waarbij in de zomer een beduidend lagere warmtevraag is als in de winter.

⁵ Voor deze categorie worden 3500 vollasturen aangenomen als zijnde geen basislast. Dit wijkt af van de 3000 vollasturen die voor biomassaketels aangenomen worden. De reden en oorzaak van dit verschil ligt in het feit dat een biomassa-installatie aan één enkele afnemer levert, terwijl TEO aan een klein distributienet levert, met een iets meer gelijkmatige warmtevraag, en dus meer vollasturen.

Thermische energie uit oppervlaktewater (TEO) met collectieve warmtepomp



259 Bron: PBL, TNO, DNV-GL

260

261 Onderstaande tabel geeft de wel en niet meegenomen kostenposten weer, voor de bereke-
 262 ning van het basisbedrag.

263

264 **Tabel 2-9. Wel en niet meegenomen kosten voor aquathermie – Thermische Ener-**
 265 **gie uit Oppervlaktewater**

Kostenpost	Groep	Details
Wel meegenomen	Investeringskosten	Onttrekkingsinstallatie warmte oppervlaktewater
		Warmtewisselaar oppervlaktewarmte /WO
		WO-systeem (leidingen en pompen)
		Collectieve warmtepomp
		Transportleiding warmte
	Warmteoverdrachtstation (WOS)	
Operatieve kosten	Operatieve kosten	Onderhoudskosten
		Elektra voor pompen en warmtepomp
Niet meegenomen	Investeringskosten	Kosten voor een warmtedistributienet naar de afnemers
		Kosten voor lokale woningaansluitingen
		Kosten voor een backup / pieklast installatie

	Abandonneringskosten WO
	Restwaarde na SDE++ periode
	Kosten voorbereidingstraject, inclusief financieringskosten en kosten ten gevolge van juridische procedures

266

267 2.6.1 Kostenbevindingen

268 In tabel 2-10 staan de technisch-economische parameters van de referentie-installatie. In
269 tabel 2-11 zijn het basisbedrag en enkele andere subsidieparameters weergegeven.

270

271 **Tabel 2-10. Technisch-economische parameters TEO, geen basislast**

Parameter	Eenheid	Eindadvies SDE++ 2021	Conceptadvies SDE++SDE++ 2022
Thermisch outputvermogen	[MW]	0,88	0,88
Vollasturen warmteafzet	[uur/jaar]	3500	3500
Elektriciteitsverbruik	[MWh/jaar]	1020	1020
Investeringskosten	[€/kW _{th}]	2318	2318
Vaste O&M-kosten	[€/kW _{th} /jaar]	117,5	117,5
Variabele O&M-kosten	[€/kWh _{th}]	0,0019	0,0019

272

273 **Tabel 2-11. Overzicht subsidieparameters TEO, geen basislast**

Parameter	Eenheid	Eindadvies SDE++ 2021	Conceptadvies SDE++SDE++ 2022
Basisbedrag	[€/kWh]	0,1157	0,1157
Looptijd subsidie	[jaar]	15	15

274

275 2.7 Aquathermie – Thermische energie uit oppervlakte- 276 water (TEO), basislast

277 Tijdens de marktconsultatie 2020 kwam de wens naar voren om te onderzoeken of een cate-
278 gorie thermische energie uit oppervlaktewater (TEO), basislast opgenomen kan worden in de
279 SDE++-regeling. Deze categorie wijkt af van de hiervoor beschreven TEO door het ver-
280 wachte hogere aantal vollasturen, namelijk 6000 in plaats van 3500. Deze situatie kan zich
281 bijvoorbeeld voordoen als de TEO invoedt op een groot warmtenet waarin de warmtepomp in
282 basislast kan draaien.

283

284 De opbouw van het systeem is hetzelfde als van een TEO zonder basislast. Het vermogen
285 van de warmtepomp van de referentie-installatie blijft gelijk. Door het hogere aantal vollast-
286 uren levert deze meer warmte op jaarbasis. De te onttrekken warmte uit het oppervlaktewa-
287 ter moet voldoende zijn om de warmteopslag te vullen en toe te laten dat de warmtepomp
288 hieraan 6000 uur warmte kan onttrekken. Voor de eenvoud zijn de onttrekking en de warm-
289 teopslag tweemaal zo groot genomen als die van de hiervoor beschreven TEO. Dat vertaalt
290 zich ook in tweemaal hogere kosten voor deze onderdelen van het systeem. Het vermogen
291 van de warmtepomp wordt op 880 kW_{th} gehouden.

292
 293 Voor de referentie-installatie voor het conceptadvies SDE++ 2022 gaan we uit van een TEO-
 294 systeem waarbij alleen warmte en geen koude wordt geleverd, uitgevoerd met een WO-
 295 systeem en een warmtepomp. We geven als aandachtspunt mee dat bij koudelevering over-
 296 stimulering kan plaatsvinden.
 297

298 2.7.1 Kostenbevindingen

299 In Tabel 2-12 staan de technisch-economische parameters van de referentie-installatie. Ook
 300 hier zijn de elektriciteitskosten verwerkt in de vaste O&M-kosten. In Tabel 2-13 zijn het ba-
 301 sisbedrag en enkele andere subsidieparameters weergegeven.
 302

303 **Tabel 2-12. Technisch-economische parameters TEO, basislast**

Parameter	Eenheid	Eindadvies SDE++ 2021	Conceptadvies SDE++ 2022
Thermisch outputvermogen	[MW]	0,88	0,88
Vollasturen warmteafzet	[uur/jaar]	6000	6000
Elektriciteitsverbruik	[MWh/jaar]	1748	1748
Investeringskosten	[€/kW _{th}]	2780	2780
Vaste O&M-kosten	[€/kW _{th} /jaar]	198	198
Variabele O&M-kosten	[€/kWh _{th}]	0,0019	0,0019

304
 305 **Tabel 2-13. Overzicht subsidieparameters TEO, basislast**

Parameter	Eenheid	Eindadvies SDE++ 2021	Conceptadvies SDE++ 2022
Basisbedrag	[€/kWh]	0,0918	0,0918
Looptijd subsidie	[jaar]	15	15

306

307 2.8 Aquathermie – Thermische energie uit oppervlakte- 308 water voor directe toepassing (TEO-d)

309 Thermische energie uit oppervlaktewater voor directe toepassing (TEO-d) is een bijzondere
 310 toepassing van de hiervoor beschreven TEO, waarbij dit directe warmtelevering aan één en-
 311 kele afnemer betreft, dus zonder warmtedistributienet in de referentie-installatie. Als type-
 312 installatie geldt een toepassing bij de glastuinbouw. Het werkingsprincipe is hetzelfde als
 313 voor TEO: in de zomer wordt warmte onttrokken aan oppervlaktewater en opgeslagen in een
 314 ondergrondse warmteopslag. In de winter wordt warm water opgepompt uit de opslag en via
 315 een warmtepomp op de gewenste temperatuur gebracht. Vergeleken met TEO voor de ge-
 316 bouwde omgeving zijn enkel de vermogensparameters en de temperatuurregimes voor TEO-
 317 d anders. De nuttige temperatuur bedraagt in dit geval 45-55 °C in plaats van 75 °C, daar-
 318 door is de warmtepomp-COP hoger en bedraagt de systeem-COP hier 4,0. Ook worden er
 319 hier geen kosten voor een WOS in rekening gebracht. Deze categorie kan ook voor een
 320 (groot) utiliteitsgebouw of een industriële afnemer in aanmerking komen, indien de installa-
 321 tie vergelijkbaar is met de referentie-installatie zoals hiervoor beschreven.

2.8.1 Kostenbevindingen

In Tabel 2-14 staan de technisch-economische parameters van de referentie-installatie, en in Tabel 2-15 het basisbedrag en enkele andere subsidieparameters.

Tabel 2-14. Technisch-economische parameters TEO-d

Parameter	Eenheid	Eindadvies SDE++ 2021	Conceptadvies SDE++ 2022
Thermisch outputvermogen	[MW]	0,63	0,63
Vollasturen warmteafzet	[uur/jaar]	3500	3500
Elektriciteitsverbruik	[MWh/jaar]	551	551
Investeringskosten	[€/kW _{th}]	807	807
Vaste O&M-kosten	[€/kW _{th} /jaar]	95,7	95,7
Variabele O&M-kosten	[€/kW _{th}]	0,0019	0,0019

Tabel 2-15. Overzicht subsidieparameters TEO-d

Parameter	Eenheid	Eindadvies SDE++ 2021	Conceptadvies SDE++ 2022
Basisbedrag	[€/kWh]	0,0584	0,0584
Looptijd subsidie	[jaar]	15	15

2.9 Aquathermie – Thermische energie uit afvalwater (TEA)

Bij thermische energie uit afvalwater wordt warmte met behulp van een warmtewisselaar onttrokken aan het effluent van een afvalwaterzuivering. De temperatuur van het effluent is afhankelijk van het seizoen. In de zomer ligt de temperatuur beduidend hoger dan in de winter en varieert hiermee typisch tussen de 12 en 24 °C. We gaan ervan uit dat de installatie jaarrond produceert en gekoppeld is aan een groter warmtenet, vandaar dat 6000 vollasturen worden aangenomen. Het meer constante warmteaanbod jaarrond betekent dat een WO-systeem geen deel uitmaakt van de referentie-installatie voor een TEA. Naast de onttrekking van warmte aan de effluentstroom, kan ook warmte worden onttrokken aan het influent of aan de riolering. Omdat het waarschijnlijk is dat de kosten hiervoor hoger zijn, zien we geen bezwaar om ook warmtewinning uit het influent van een afvalwaterzuiveringsstation of uit een riolering onder deze categorie toe te laten.

Het gebruik van een warmtepomp bij een TEA-installatie maakt dat voor de berekening van het basisbedrag voor deze categorie de uiteindelijke warmteafgifte na de warmtepomp leidend is en niet de warmteonttrekking aan het afvalwater.

TEA kan in combinatie met een warmtenet op twee manieren worden toegepast in de gebouwde omgeving: directe warmtelevering en warmtelevering met een collectieve warmtepomp. In het eerste geval wordt de warmte direct geleverd aan de afnemers die ieder over een individuele warmtepomp beschikken, waarbij de woningen geschikt moeten zijn voor laagtemperatuurverwarming (bijvoorbeeld zeer goed geïsoleerde woningen voorzien van vloerverwarming). Voor tapwater moet in de huidige regelgeving de temperatuur 60 °C zijn. Hiervoor moet het water op een andere manier extra worden opgewarmd.

355 In het tweede geval, als de ruimteverwarming een hogere temperatuur vraagt, kan een col-
356 lectieve warmtepomp worden toegepast. In dat geval wordt de aan het effluent van het af-
357 valwater onttrokken warmte opgewaardeerd met een warmtepomp tot circa 75 °C, waarna
358 deze warmte wordt geleverd aan de afnemers. Hierbij is een matige tot goede isolatie van
359 gebouwen gewenst en is geen of beperkte aanpassing in het afgiftesysteem nodig. Dit sys-
360 teem nemen we aan als referentie voor deze categorie.

361

362 Figuur 2-2 geeft een voorbeeld van het referentiesysteem. Voor de berekeningen van het
363 stroomverbruik van de referentie-installatie en van het basisbedrag is een COP-waarde van
364 3,94 voor de warmtepomp en een totale systeem-COP van 3,44 aangenomen, op basis van
365 beschikbare projectdata.

366

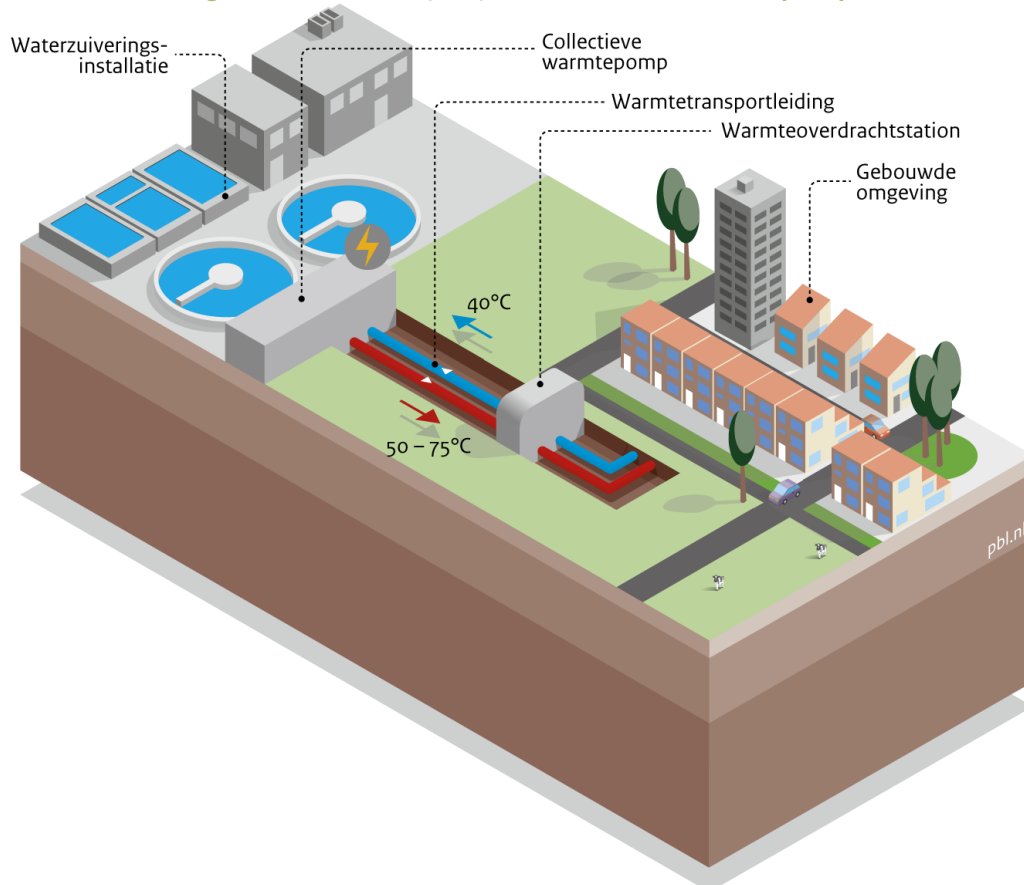
367 Voor de referentie-installatie voor het conceptadvies SDE++ 2022 gaan we uit van een TEA-
368 systeem waarbij alleen warmte en geen koude wordt geleverd, uitgevoerd met een collec-
369 tieve warmtepomp. De warmteonttrekkingstechniek uit het effluent is gelijkaardig aan die
370 van een TEO want het betreft hier een drukloze, eventueel open afvoer. Tevens zijn kosten
371 meegenomen voor een warmtetransportleiding (700 meter, afstand van de TEA-installatie tot
372 aan het warmteoverdrachtstation) en voor een warmteoverdrachtstation.

373

374

Figuur 2-2.

Thermische energie uit afvalwater (TEA) met collectieve warmtepomp



375

Bron: PBL, TNO, DNV-GL

376

377

Onderstaande tabel geeft de wel en niet meegenomen kostenposten weer, voor de bereke-
378 ning van het basisbedrag.

379

380 **Tabel 2-16. Wel en niet meegenomen kosten voor aquathermie – Thermische ener-**
 381 **gie uit Afvalwater**

Kostenpost	Groep	Details
Wel meegenomen	Investeringskosten	Onttrekkingsinstallatie warmte effluent afvalwater
		Collectieve warmtepomp
		Transportleiding warmte
		Warmteoverdrachtstation (WOS)
	Operationele kosten	Onderhoudskosten
		Elektra voor pompen en warmtepomp
Niet meegenomen	Investeringskosten	Kosten voor een warmtedistributienet naar de afnemers
		Kosten voor lokale woningaansluitingen
		Restwaarde na SDE++-periode
		Kosten voor een backup / pieklast installatie
		Kosten voorbereidingstraject, inclusief financieringskosten en kosten ten gevolge van juridische procedures

382

383 2.9.1 Kostenbevindingen

384 In tabel 2-17 staan de technisch-economische parameters van de referentie-installatie. De
 385 elektrakosten zijn opgenomen in de vaste O&M-kosten. In tabel 2-18 zijn het basisbedrag en
 386 enkele andere subsidieparameters weergegeven.

387

388 **Tabel 2-17. Technisch-economische parameters TEA**

Parameter	Eenheid	Eindadvies SDE++ 2021	Conceptadvies SDE++ 2022
Thermisch outputvermogen	[MW]	1	1
Vollasturen warmteafzet	[uur/jaar]	6000	6000
Elektriciteitsverbruik	[MWh/jaar]	1744	1744
Investeringskosten	[€/kW _{th}]	1890	1890
Vaste O&M-kosten	[€/kW _{th} /jaar]	161	161
Variabele O&M-kosten	[€/kW _{th}]	0,0019	0,0019

389

390

391 **Tabel 2-18. Overzicht subsidieparameters TEA**

Parameter	Eenheid	Eindadvies SDE++2021	Conceptadvies SDE++ 2022
Basisbedrag	[€/kWh]	0,0678	0,0678
Looptijd subsidie	[jaar]	15	15

392

393

2.10 Vragen en overwegingen

394

395

Waterkracht

396

- We zouden graag informatie actualiseren over onderstaande categorieën, en vragen marktpartijen informatie aan te leveren of te delen via de marktconsultatie:

397

398

- Waterkracht, valhoogte ≥ 50 cm

399

- Waterkracht, valhoogte ≥ 50 cm, renovatie

400

- Waterkracht, valhoogte < 50 cm

401

- Osmose

402

- Kunnen de marktpartijen nadere kentallen en technisch economische parameters delen omtrent visgeleidingsystemen en visvriendelijke turbines?

403

404

405

Aquathermie

406

- Kunnen de marktpartijen nadere kentallen delen over separate WO-systemen (investeringskosten in €/kW, maar ook €/kWh opslagcapaciteit, vollasturen warmte, thermisch vermogen)?

407

408

409

- Kunnen de marktpartijen aangeven uit welke componenten een aquathermie-installatie met warmtelevering aan een lage-temperatuurnet (aanvoertemperatuur 40 tot 50 °C) zou bestaan en welke de bijhorende techno-economische parameters zouden zijn?

410

411

412

413

- In het SDE++ eindadvies 2020 werd TED ondergebracht bij TEA – uit oogpunt van de jaarrond constantere temperatuur van het water waaruit warmte onttrokken wordt. Na de marktconsultatie 2020 is dat bijgesteld naar TEO – wegens de noodzaak voor een seizoenswarmte-opslag. Uit de projectaanvragen najaar 2020 blijkt dat er TED als TEA aangevraagd is. Kan de markt aangeven of de regeling onderscheid moet maken tussen een TED zonder warmte-opslag (valt onder de categorie "TEA") en een TED met warmte-opslag (valt onder de categorie "TEO")?

414

415

416

417

418

419

420

- Is de schaalgrootte (1 MW_{th}) van de referentie installatie TEA marktconform?

421

- Kunnen de marktpartijen technische en economische data aanleveren, ten behoeve de bepaling van een mogelijke onrendabele top, indien een TEO installatie in combinatie met koudeopslag uitgevoerd zou worden?

422

423

424

425

427 Bijlage A

428 Kostenbevindingen

429 Aquathermie

430

431 **Hoe de efficiëntie van warmtepompen bij thermische energie uit oppervlaktewater**
 432 **(TEO) in de SDE++-berekeningen meegenomen is.**

433

434 Bij een paar categorieën voor duurzame warmteproductie onder de SDE++ wordt gebruik
 435 gemaakt van een warmtepomp om de temperatuur van de warmtebron te verhogen naar
 436 een niveau bruikbaar voor de afnemers. Een warmtepomp bestaat doorgaans uit volgende
 437 componenten:

- 438 - Een verdamper waar een koelmiddel doorheen stroomt die warmte opneemt uit de
 439 duurzame warmtebron
- 440 - Een compressor die het verwarmde koelmiddel samendrukt
- 441 - Een condensor waarin het verwarmde koelmiddel zijn warmte afgeeft aan de nuttige
 442 warmtestroom
- 443 - Een expansieventiel waarin de druk van het afgekoelde koelmiddel verlaagd wordt.

444 Los van allerlei technische eigenschappen van warmtepompen, is het voor de berekening van
 445 het basisbedrag van een categorie binnen de SDE++ van belang om te weten wat de repre-
 446 sentatieve efficiëntie, uitgedrukt als Coefficient of Performance (COP), is. De COP van een
 447 warmtepomp (COP_h) wordt als volgt berekend:

$$448 \quad COP_h = \frac{Q_{\text{nuttige warmte}}}{W_{\text{elektrisch}}} = \frac{Q_{\text{opgenomen warmte}}}{W_{\text{elektrisch}}} + 1$$

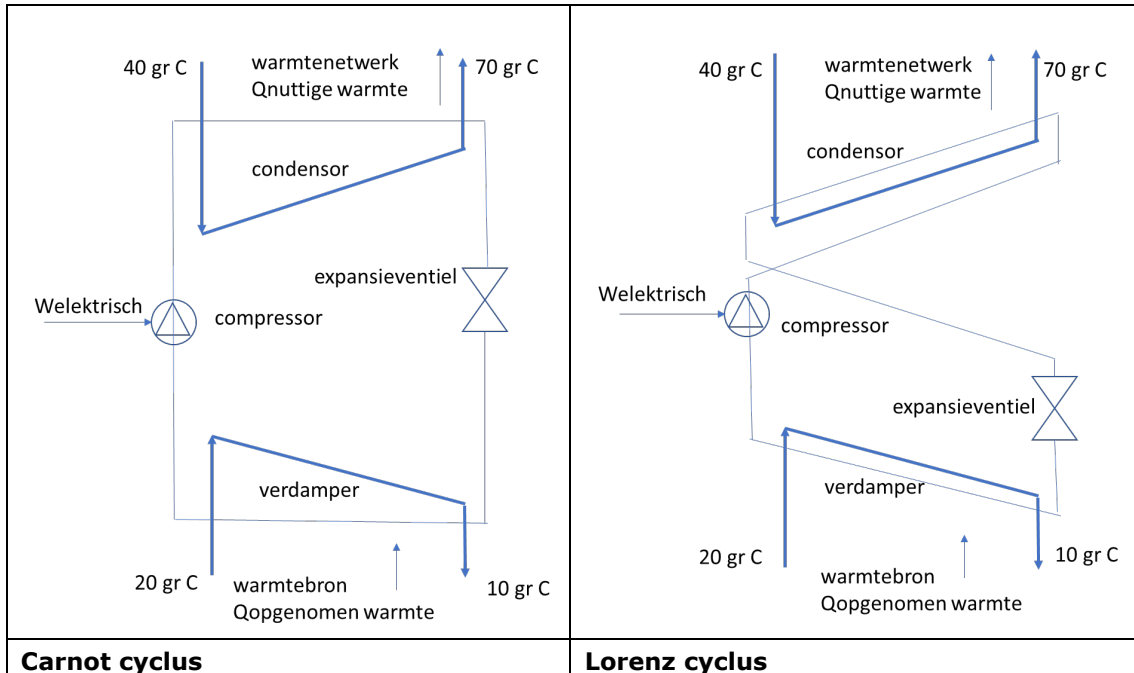
449

450 Waarbij $Q_{\text{nuttige warmte}}$ de warmte is die afgegeven wordt aan de condensorzijde (de geleverde
 451 warmte door de warmtepomp), $W_{\text{elektrisch}}$ de ingaande elektriciteit en $Q_{\text{opgenomen warmte}}$ de
 452 warmte die aan de verdamperzijde uit de duurzame warmtebron wordt opgenomen, alle in
 453 kWh_{th}.

454 Voor een warmtepomp betekent een COP van 4 dat 1 kW elektriciteit benodigd is om 4 kW
 455 warmte af te staan. Hierbij wordt 3 kW warmte opgenomen uit de duurzame warmtebron. De
 456 COP bepaalt dus voor de SDE++ referentie-installatie het elektriciteitsverbruik van de warm-
 457 tepomp (van belang voor de correctie op de vermeden CO₂-emissies van de categorie in het
 458 OT-model) en, via het elektriciteitsverbruik, ook de bijbehorende kosten die deel uitmaken
 459 van de jaarlijkse OPEX.

460 Voor de bepaling van de COP bestaan er twee methodes: een volgens de Carnot cyclus met
 461 een constante verdamper- en condensortemperatuur (Figuur 0-1, links) en een volgens de
 462 Lorenz cyclus met een glijdende verdamper- en condensortemperatuur (Figuur 0-1, rechts).
 463 Voor de SDE++ zijn enkel de in- en uitgangstemperaturen van de warmtestroom bij de rest-
 464 warmtebron en de afnemers van belang. Wat de temperatuur (en druk) van het koelmiddel
 465 in elk onderdeel binnenin de warmtepomp is, is hier niet van belang, maar maakt wel deel
 466 uit van het technisch ontwerp van de warmtepomp voor de beoogde toepassing.

467



Carnot cyclus

Lorenz cyclus

468 **Figuur 0-1. Carnot cyclus en Lorenz cyclus**

469

470

De theoretische COP wordt voor beide cycli als volgt bepaald:

Carnot	Lorenz
$COP_{h,Carnot} = \frac{T_{cond} [K]}{T_{cond} - T_{evap}}$	$COP_{h,Lorenz} = \frac{T_{m\ cond} [K]}{(T_{m\ cond} - T_{m\ verd})}$
	$T_m = \frac{T_{gc,in} [K] - T_{gc,out} [K]}{\ln\left(\frac{T_{gc,in} [K]}{T_{gc,out} [K]}\right)}$

471

472

473

474

475

476

477

478

479

480

481

482

483

484

485

Voor de SDE++ referentiesituatie TEO waarin warmte geleverd wordt aan een warmtedistributienet voor de gebouwde omgeving gaan we uit van een temperatuursregime van 70 °C aanvoer en 40 °C retour. De brontemperatuur van de warmte-opslag schatten we op 20 °C aan het begin van de warmteafgifteperiode en 15 °C op het einde ervan. De retourtemperatuur houden we op 10 °C gedurende de hele warmteafgifte periode.

De theoretische COP bedraagt dan 5,7 voor een Carnot cyclus en 8 voor een Lorenz cyclus. De werkelijke COP bedraagt ongeveer de helft van deze theoretische COP, omdat er altijd verliezen zijn in bijvoorbeeld de compressor gedurende de compressieslag. De factor voor de werkelijke COP bedraagt 60% voor de Carnot cyclus en 50% voor de Lorenz cyclus

Voor de SDE++ gaan we uit van een Lorenz cyclus gegeven de werkingscondities van de warmtepomp. Dit betekent dat de werkelijke COP van de warmtepomp in de referentieinstallatie TEO 3,7 bedraagt.

486 **Bijlage B**
487 **Kostenopbouw**
488 **referentie-installaties**
489 **TEO/TEO-d/TEA**

490 Onderstaande Tabel 0-1 bevat de kostenopbouw van de verschillende aquathermieprojecten.
491 De hier weergegeven totale CAPEX en OPEX waarden (gegeven in €/kW) kunnen licht afwij-
492 ken van de waarden gebruikt voor de berekeningen van de basisbedragen, door afrondingen.
493

Tabel 0-1. Kostenopbouw van de verschillende aquathermieprojecten

	TEO geen basislast		TEO basislast		TEO-d		TEA	
	[€]	[€/kW]	[€]	[€/kW]	[€]	[€/kW]	[€]	[€/kW]
WP vermogen [kW _{th}]	880		880		630		1.000	
Vollasturen	3.500		6.000		3.500		6.000	
CAPEX componenten								
	[€]	[€/kW]	[€]	[€/kW]	[€]	[€/kW]	[€]	[€/kW]
Warmte-onttrekking WO	148.580	170	297.159	338	107.100	170	170.000	170
WP	258.149	293	516.297	587	185.000	292		
transport	264.000	300	264.000	300	126.667	200	300.000	300
WOS	490.000	557	490.000	557	89.333	141	420.000	420
Totaal	879.000	1.000	879.000	1000	-	-	1.000.000	1.000
	2.039.728	2.320	2.446.457	2.780	508.100	803	1.890.000	1.890
OPEX componenten								
	[€]	[€/kW]	[€]	[€/kW]	[€]	[€/kW]	[€]	[€/kW]
O&M Warmtepomp	7.445	9	7.445	8	1.900	3	8.978	9
O&M WO installatie	5.772	7	11.543	13	5.550	9		
O&M Onttrekking	3.151	4	6.302	7	447	1	3.800	4
O&M Warmtewisselaars elektra	328	0	328	0				
Totaal	86.689	99	148.609	169	52.369	83	148.256	148
	103.385	119	174.228	198	60.265	96	161.033	161
WP COP	3,7		3,7		4,77		3,94	
systeem COP	3,02		3,02		4		3,44	
elektriciteitsverbruik	1.020		1.748		551		1.744	