



1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16

CONCEPTADVIES SDE++ 2022 Geothermie

Koen Smekens, Bart in 't Groen, Harmen Mijnlief, Sjoerd Tolsma

22 april 2021



18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46

Colofon

Conceptadvies SDE++ 2022 Geothermie

© PBL Planbureau voor de Leefomgeving
Den Haag, 2021

PBL-publicatienummer: 4382

Contact

sde@pbl.nl

Auteurs

Bart in 't Groen (DNV); Koen Smekens, Harmen Mijnlieff en Sjoerd Tolsma (TNO)

Redactie figuren

Beeldredactie PBL

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding:
Koen Smekens, Bart in 't Groen, Harmen Mijnlieff, Sjoerd Tolsma (2021), *Conceptadvies SDE++ 2022, Geothermie*, Den Haag: PBL.

Het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) is het nationale instituut voor strategische beleidsanalyses op het gebied van milieu, natuur en ruimte. Het PBL draagt bij aan de kwaliteit van de politiek-bestuurlijke afweging door het verrichten van verkenningen, analyses en evaluaties waarbij een integrale benadering vooropstaat. Het PBL is vóór alles beleidsgericht. Het verricht zijn onderzoek gevraagd en ongevraagd, onafhankelijk en wetenschappelijk gefundeerd.

Inhoud

48	1	Inleiding	4
49	2	Geothermie	5
50	2.1	Inleiding	5
51	2.1.1	Invloed warmtepomp	7
52	2.2	Beschrijving referentie-installaties	9
53	2.2.1	Ondiepe geothermie (geen basislast)	9
54	2.2.2	Ondiepe geothermie (basislast)	11
55	2.2.3	Diepe geothermie (basislast)	12
56	2.2.4	Diepe geothermie (geen basislast)	13
57	2.2.5	Ultradiepe geothermie	14
58	2.2.6	Diepe geothermie (uitbreiding)	15
59	2.2.7	Advies basisbedragen	17
60		Vragen en overwegingen	19
61		Bijlage A Kostenbevindingen Geothermie	20
62		Bijlage B Geothermie; definities	29
63		Lijst van definities – Geothermie	29
64		Definities - Geothermieproject	29
65		Definities – Vermogen & Energie	31
66		Definities – Energieproductie	33
67		Definities - Economie	34
68		Definities - Diepte en/of stratigrafisch bereik geothermieprojecten	34
69		Literatuur	36
70			
71			
72			

1 Inleiding

73

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 Deze notitie bevat het conceptadvies voor geothermie SDE++ 2022 inclusief een actualisatie
81 van kostenbevindingen in een bijlage. Het nu voorliggende document geeft naast een con-
82 ceptadvies over de basisbedragen, ook een actualisatie van het overzicht van de kosten en
83 andere parameters van geothermieprojecten.

84

85 **Marktconsultatie**

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

90

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

95

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

97

2 Geothermie

98

99 2.1 Inleiding

100 In dit hoofdstuk bespreken we de bevindingen over de categorieën gerelateerd aan geother-
101 mie. We maken hierbij onderscheid tussen de volgende categorieën:

- 102 • Ondiepe geothermie (geen basislast)
- 103 • Ondiepe geothermie (basislast)
- 104 • Diepe geothermie (basislast)
- 105 • Diepe geothermie (geen basislast)
- 106 • Ultradiepe geothermie
- 107 • Diepe geothermie (uitbreiding)

108

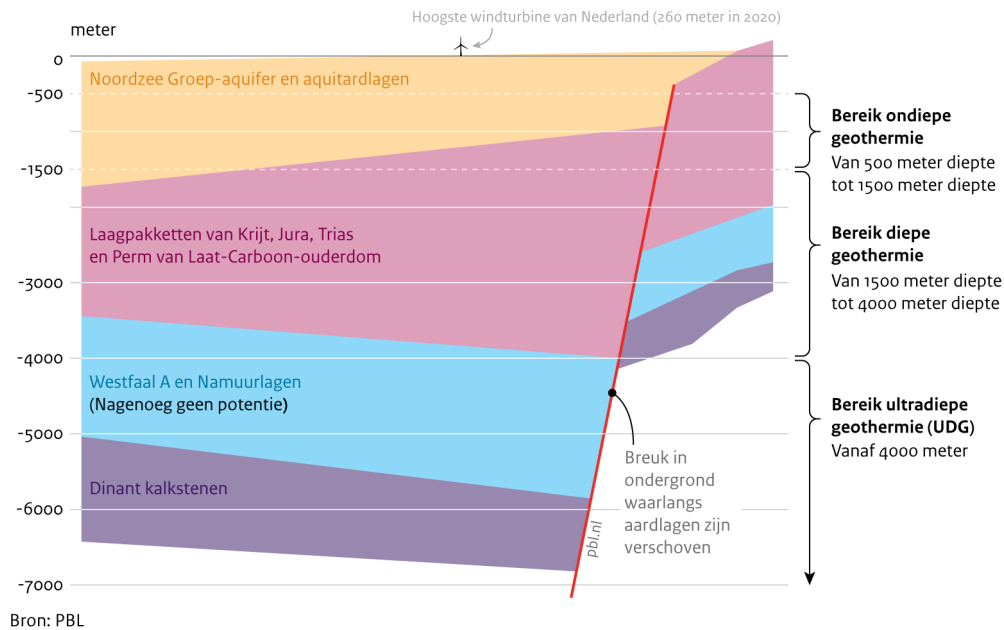
109 Ten opzichte van het vorige gepubliceerde advies zijn geen wijzigingen doorgevoerd.

110

111 In onderstaande figuur geeft de opbouw van de aardlagen in Nederland en de relatie tot het
112 bereik van de geothermiecategorieën weer.

113

Opbouw aardlagen in Nederland



- **Ondiepe geothermie**

Ondiepe geothermie wordt in dit advies gedefinieerd als het winnen van aardwarmte uit aardlagen vanaf 500 meter diep tot een diepte van 1500 meter. Vooralsnog betreffen dit hoofdzakelijk de laagpakketten uit de Noordzee Groep

- **Diepe geothermie**

Diepe geothermie wordt gedefinieerd als het winnen van warmte uit laagpakketten vanaf 1500 meter en ondieper dan 4000 meter. Vooralsnog betreffen dit hoofdzakelijk laagpakketten van Laat Krijt, Vroeg Jura, Trias, Perm en Laat-Carboon-ouderdom, bestaande uit sedimenten van Rijnland, Schieland, Onder Germaanse Trias, Boven-Rotliegend en Zeeland Groepen en mogelijk sedimenten uit de Krijt-kalk, Zechstein en Limburg Groepen.

Afhankelijk van de locatie in Nederland liggen de laagpakketten typisch voor ultradiepe geothermie (UDG) ook ondieper en vallen zij derhalve ook in deze categorie.

- **Ultradiepe geothermie**

Ultradiepe geothermie wordt gedefinieerd als het winnen van warmte uit laagpakketten die vanaf en dieper dan 4000 meter liggen. Vooralsnog zijn dat gesteentepakketten van Vroeg-Carboon (Dinant kalksteen) en Devoon ouderdom, het Devoon is ouder dan het Vroeg-Carboon en staat niet in de figuur.

114

115

116

117

118 **Tabel 2-1 Overzicht categorieën en de bijhorende componenten met hun inzet**

Categorie	Bron	Pomp ¹	Warmtepomp ²
Ondiepe geothermie (geen basislast)	Ondiepe aardwarmte	ESP, IP	Ophogen afgifte-temperatuur
Ondiepe geothermie (basislast)	Ondiepe aardwarmte	ESP, IP	Ophogen afgifte-temperatuur
Diepe geothermie (basislast)	Diepe aardwarmte	ESP, IP	Optioneel: dieper uitkoelen
Diepe geothermie (geen basislast)	Diepe aardwarmte	ESP, IP	Optioneel: dieper uitkoelen
Ultradiepe geothermie	Ultra diepe aardwarmte	ESP, IP	Optioneel: dieper uitkoelen
Diepe geothermie (uitbreiding)	Diepe aardwarmte	ESP, IP	Optioneel: dieper uitkoelen

119

120 2.1.1 Invloed warmtepomp

121 Een warmtepomp kan voor meerdere doeleinden ingezet worden. Aan de ene kant kan de
122 warmtepomp ingezet worden voor het verhogen van de afgiftetemperatuur (dit is bijvoor-
123 beeld bij ondiepe geothermie het geval, waar de lagere temperatuur uit de ondiepe geother-
124 miebron een lift krijgt, zodat deze kan worden ingezet voor verwarming van woningen en
125 gebouwen). Hiernaast kan een warmtepomp worden ingezet voor het uitkoelen van bijvoor-
126 beeld retourleidingen. Hierbij kan de warmtepomp worden aangesloten op de retourleiding
127 ten behoeve van verdere uitkoeling van het injectiewater. Hiermee wordt dan een groter
128 temperatuurverschil tussen de productie- en injectieput van het geothermisch doublet ver-
129 kregen, waardoor een groter geothermisch bronvermogen beschikbaar komt.
130 Onderstaande tabel geeft weer welke kostenposten wel of niet meegenomen zijn bij de bepa-
131 ling van de specifieke investerings- en vaste operationele kosten en de basisbedragen.
132

¹ Pomp:
- ESP: *Electrical Submersible Pump* / opvoerpomp,
- IP: Injectiepomp;

² Warmtepomp:
- Ophogen afgiftetemperatuur: Inzet warmtepomp voor temperatuurlift van de lage temperatuur van de warmtebron tot aan afgiftetemperatuur voor de eindgebruiker;
- Dieper uitkoelen: Warmtepomp kan worden ingezet voor verdere uitkoeling op retour voor injectie

Tabel 2-2: Wel en niet meegenomen kosten voor geothermie

Kostenpost	Groep	Details
Wel meegenomen	Investeringskosten	Boorkosten (incl. materiaal, tests, afvoer afval)
		Kosten voor pompen (ESP)
		Kosten voor gas- of olieafvang
		Kosten voor bovengrondse warmtewisselaars
		Kosten voor een warmtepomp (voor ondiepe geothermie en optioneel voor diepe geothermie)
		Kosten voor bovengrondse installatie
		Kosten voor verzekeringen
		Aansluiting op transportnet warmte (stelpost)
		Restwaarde na einde levensduur project (20% van de voor het basisbedrag in aanmerking komende investeringskosten)
	Operationele kosten	Garantie en onderhoud
		Netbeheer, elektra kosten (inclusief kosten elektra warmtepomp, indien aanwezig)
		Personeelskosten
		Administratiekosten (stelpost)
		Opstalvergoeding
		Monitoringssysteem
		Verzekeringen
		Reservedelen
		Afvoerkosten (voor bijvoorbeeld afval)
		Onvoorzien
Niet meegenomen	Investeringskosten	Kosten voor een warmtedistributienet naar de afnemers
		Kosten voor lokale woning- of gebouwaansluitingen
		Kosten voor een vervangende en/of aanvullende warmtevoorziening (ketel, WKK)(back-up)
		Kosten voorbereidingstraject, inclusief financieringskosten en kosten ten gevolge van juridische procedures
		Kosten voor geologisch vooronderzoek
		Kosten voor vergunningen en contracten
	Operationele kosten	Kosten aankoop CO ₂
		Baten van de inzet van afgevangen gas en olie.
		Onderhoudskosten voor een warmtedistributienet naar de afnemers

135

2.2 Beschrijving referentie-installaties

136

2.2.1 Ondiepe geothermie (geen basislast)

137

Bij ondiepe geothermie (OGT) wordt aardwarmte onttrokken aan ondiepere formatielagen. In

138

lijn met de meegegeven uitgangspunten voor de SDE+-regeling 2022 wordt hier een diep-

139

tegrens vanaf 500 meter aangehouden, net zoals de diepte waarvoor de Mijnbouwwet geldt.

140

De maximale diepte voor deze categorie is tot 1500 meter. In vergelijking met diepe geo-

141

thermieprojecten ligt de productietemperatuur van ondiepe geothermieprojecten dan ook la-

142

ger.

143

144

De voorgestelde grens van 500 meter maakt voldoende onderscheid met het toepassingsge-

145

bieb van WKO-systemen. Deze WKO-systemen opereren veelal op dieptes tot 200 meter.

146

Opslagsystemen (zoals WKO en andere seizoensopslagsystemen) zijn expliciet uitgesloten

147

onder deze categorie. De productietemperatuur van ondiepe geothermie ligt tussen de 25 en

148

55 °C. De temperatuur van het productiewater is hierbij afhankelijk van de diepte van de

149

bron, maar dient in bijna alle gevallen nog te worden verhoogd met behulp van een enkele of

150

collectieve warmtepomp. Dit maakt dat voor deze categorie de hoeveelheid afgegeven

151

warmte na de warmtepomp leidend is, en niet de aan de bodem onttrokken warmte. Hier-

152

naast geldt voor de collectieve warmtepomp een minimaal warmteafgiftevermogen van 500

153

kW_{th}.

154

155

OGT kan in combinatie met een warmtenet op twee manieren worden toegepast in de ge-

156

bouwde omgeving waarvoor een beperkt aantal vollasturen geldt (geen basislast): directe

157

warmtelevering en warmtelevering met een collectieve warmtepomp. In het eerste geval

158

wordt de lagetemperatuurwarmte meteen geleverd aan afnemers die elk over een individuele

159

warmtepomp beschikken, waarbij de woningen geschikt dienen te zijn voor lagetemperatuur-

160

verwarming. Als de ruimteverwarming een hogere temperatuur vraagt, kan bijvoorbeeld een

161

collectieve warmtepomp worden toegepast. In dat geval wordt de warmte uit de ondergrond

162

eerst opgewaardeerd met een warmtepomp tot circa 70 of 75 °C, waarna deze hogetempe-

163

ratuurwarmte wordt geleverd aan de afnemers. De geothermische putten van OGT-systemen

164

kunnen geothermische warmte winnen via verticale, maar ook via meer horizontaal geboorde

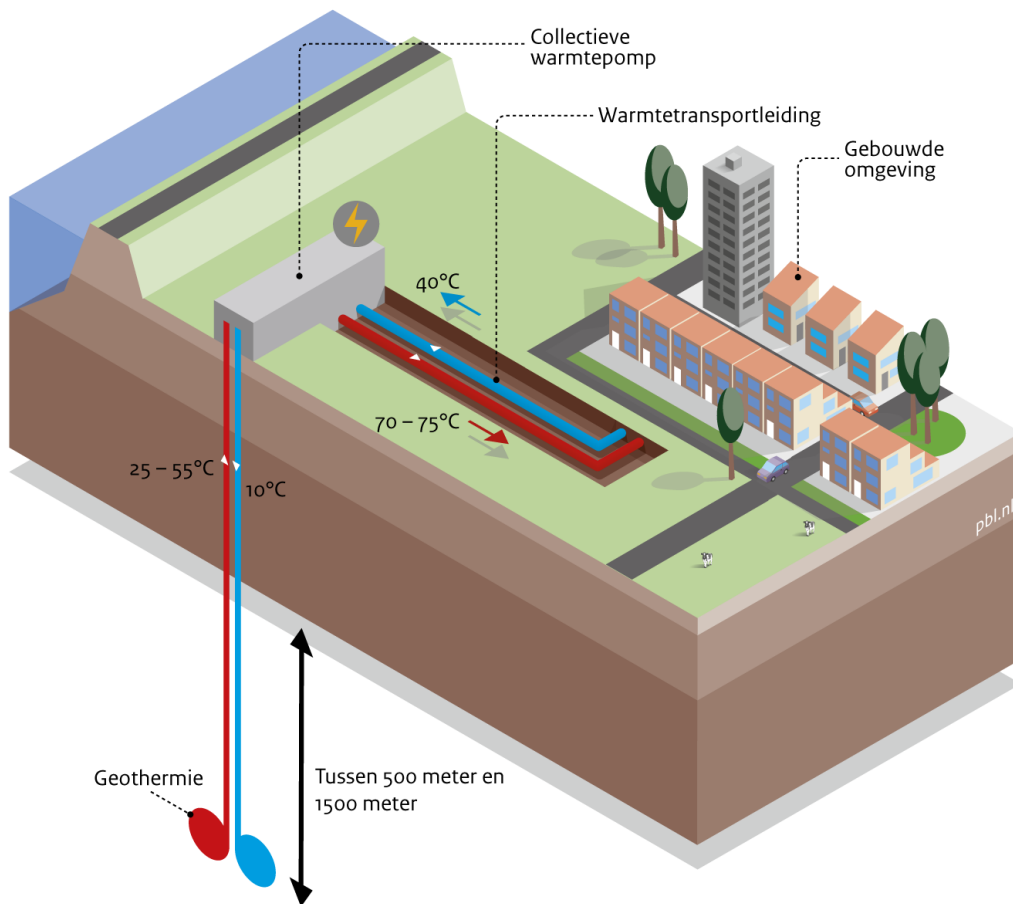
165

putten.

166

167

Ondiepe geothermie (OGT) met collectieve warmtepomp



Bron: PBL, TNO, DNV-GL

169

170 Voor de referentiecasi voor dit advies gaan we uit van een doublet met verticale putten en
 171 een collectieve warmtepomp die een temperatuurniveau van 70-75 °C levert. De hier ver-
 172 melde gegevens zijn gebaseerd op literatuurgegevens omdat dergelijke projecten momenteel
 173 nog nagenoeg niet gerealiseerd zijn. De geologische informatie over de ondiepe ondergrond
 174 is minder bekend, echter literatuur duidt op een technisch potentieel van 229 PJ per jaar
 175 (Schepers et al. 2018), waarbij aangegeven wordt dat ondiepe geothermie een belangrijke
 176 aanbieder kan zijn van duurzame warmte in stedelijk gebied.

177

178 Als boordiepte voor de referentie-installatie wordt 1000 meter verondersteld (dit valt in het
 179 midden van het bereik van ondiepe geothermie, namelijk tussen 500 en 1500 meter). Dit
 180 stemt overeen met een onttrekkingstemperatuur van ongeveer 40 °C en gaat uit van een re-
 181 tourtemperatuur van 10 °C. Het thermisch vermogen van de hele installatie wordt uitgelegd
 182 op het thermisch vermogen van de warmtepomp en bedraagt 8 MW_{th}. Voor de referentie-in-
 183 stallatie is een COP van 3,7 gebruikt bij de berekening van het basisbedrag. In tabel 7-1
 184 staan de technisch-economische parameters van de referentie-installatie. De kosten voor de
 185 warmtepomp zijn wel meegenomen, kosten voor het warmtedistributienetwerk en kosten
 186 voor lokale aansluitingen niet. Zie ook tabel 2-2.

187

188 Onderstaande tabel bevat de technisch economische parameters. Deze zijn niet gewijzigd ten
 189 opzichte van het vorige advies.

190 **Tabel 2-3. Technisch-economische parameters ondiepe geothermie (geen basislast)**

Parameter	Eenheid	Eindadvies SDE++ 2021	Conceptadvies SDE++ 2022
Thermisch outputvermogen	[MW _{th}]	8,0	8,0
Vollasturen warmteafzet	[uur/jaar]	3500	3500
Elektriciteitsverbruik	[MWh/jaar]	7572	7572
Investeringskosten	[€/kW _{th}]	2075	2075
Vaste O&M-kosten	[€/kW _{th} /jaar]	110,8	110,8
Variabele O&M-kosten	[€/kWh]	0,0019	0,0019

191
 192 Ook de variant van OGT met horizontaal geboorde leidingen is doorgerekend op basis van
 193 literatuurgegevens. Voor een installatie op dezelfde diepte is de investeringskost per kW_{th}
 194 vergelijkbaar, maar de vaste O&M-kosten per kW_{th} liggen iets lager. Deze combinatie resul-
 195 teert in productiekosten die iets lager liggen dan die van de referentie-installatie die hiervoor
 196 is beschreven, maar binnen de spreiding van de onderzochte projecten. Daarom zien we on-
 197 voldoende basis om voor horizontaal geboorde OGT een aparte categorie open te stellen; ho-
 198 rizontaal geboorde OGT-projecten vallen binnen de hier beschreven categorieën voor ondiepe
 199 geothermie.

200 2.2.2 Ondiepe geothermie (basislast)

201 Deze categorie verschilt van de categorie "geen basislast" enkel door het aantal vollasturen.
 202 In plaats van 3500 uur wordt nu met 6000 uur gerekend, typerend voor een project in de
 203 glastuinbouw of een andere afnemer met een meer continu warmtevraagprofiel. Het hogere
 204 aantal vollasturen werkt door in de operationele kosten waarin de stroomkosten voor de
 205 warmtepomp en de opvoerpomp (ESP) van het doublet zijn inbegrepen. Voor de bepaling
 206 van het basisbedrag wordt uitgegaan van een COP van 4,2 voor de warmtepomp en 3,7 voor
 207 de gehele installatie. De specifieke investeringskosten zijn iets lager als die van de OGT-
 208 installatie, geen basislast, omdat de bouwkosten in niet stedelijk gebied lager ingeschat wor-
 209 den. Opslagsystemen (zoals WKO en andere seizoensopslagsystemen) vallen niet onder deze
 210 categorie.

211
 212 **Tabel 2-4. Technisch-economische parameters ondiepe geothermie (basislast)**

Parameter	Eenheid	Eindadvies SDE++ 2021	Conceptadvies SDE++ 2022
Thermisch outputvermogen	[MW _{th}]	8,0	8,0
Vollasturen warmteafzet	[uur/jaar]	6000	6000
Elektriciteitsverbruik	[MWh/jaar]	12981	12981
Investeringskosten	[€/kW _{th}]	2000	2000
Vaste O&M-kosten	[€/kW _{th} /jaar]	168	168
Variabele O&M-kosten	[€/kWh]	0,0019	0,0019

213
 214

2.2.3 Diepe geothermie (basislast)

215 Deze categorie is representatief voor het toepassingsgebied van een groot aantal geothermi-
216 sche projecten, met name in de glastuinbouw, maar ook voor geothermische projecten die
217 gebruikmaken van een doublet bestaande uit verlaten olie- of gasputten. De dieptegrens
218 voor deze categorie is afgebakend op een diepte vanaf 1500 meter tot een maximale diepte
219 van 4000 meter. Opslagsystemen (zoals warmte-koudeopslag en andere seizoensopslagsys-
220 temen) vallen niet onder deze categorie. Deze categorie betreft geothermische projecten met
221 een grote en vrij gelijkmatige jaarlijkse warmtevraag en kent daarmee een relatief hoog
222 aantal vollasturen. Stadsverwarmingstoepassingen kennen een beperktere warmtevraag ge-
223 durende een deel van het jaar en daarmee een lager aantal vollasturen. Voor deze toepas-
224 sing is een separate doorrekening opgenomen, die separaat wordt toegelicht in paragraaf
225 2.2.4.
226

227
228 Parameters met een grote invloed op het bronvermogen voor de geothermieprojecten in
229 deze categorie zijn onder andere de brontemperatuur (gerelateerd aan onder andere de
230 boordiepte van het doublet), retourtemperatuur en het debiet van de vloeistofstromen (gere-
231 lateerd aan onder andere de aquifereigenschappen en de diameter van de productie- en in-
232 jectieputten). Zowel de boordiepte als de putdiameter heeft een grote invloed op het
233 investeringsbedrag voor geothermische projecten.
234

235 Voor gerealiseerde projecten wijkt het werkelijke productievermogen vaak af van het be-
236 schikte productievermogen. In dit advies zijn de gemiddelde werkelijke productievermogens
237 leidend, niet de gemiddelde beschikte vermogens.
238

239 Voor de optie *Verlaten olie- of gasputten dienend als geothermisch doublet* bleek uit het ad-
240 vies voor de SDE+ 2019 dat de berekende basisbedragen voor deze optie in dezelfde range
241 liggen als de basisbedragen voor de diepe geothermische basislastprojecten. Daarom stellen
242 we voor om deze optie ook onder de voorliggende categorie toe te laten.
243

244 Uit de kostenbevindingen valt af te leiden dat de economische parameters tussen projecten
245 $< 20 \text{ MW}_{\text{th}}$ en $> 20 \text{ MW}_{\text{th}}$ verschillen en aanleiding geven om hier een onderscheid in te ma-
246 ken. Kleinere projecten hebben relatief hoge specifieke investeringskosten, terwijl grotere
247 projecten, die vaak ook recentere aanvragen betreffen, juist hogere specifieke O&M-kosten
248 hebben. Een reden voor dit laatste kan zijn dat deze projecten vaak een warmtepomp bevat-
249 ten waardoor de stroomkosten toenemen.
250

251 Er zijn nu ook kosten opgenomen voor veiligheidseisen (dubbelwandige buizen). De herzie-
252 ning van de COP heeft ertoe geleid dat het stroomverbruik toeneemt, en dus ook de vaste
253 O&M-kosten waarin de stroomkosten verwerkt zijn.
254

Tabel 2-5. Technisch-economische parameters diepe geothermie (basislast)

Parameter	Eenheid	< 20 MW _{th}		≥ 20 MW _{th}	
		Eindadvies SDE++ 2021	Conceptadvies SDE++ 2022	Eindadvies SDE++ 2021	Conceptadvies SDE++ 2022
Thermisch outputvermogen	[MW _{th}]	13	13	23	23
Vollasturen warmteafzet	[uur/jaar]	6000	6000	6000	6000
Elektriciteitsverbruik	[MWh/jaar]	3515	3515	6830	6830
Investeringskosten	[€/kW _{th}]	1646	1646	1062	1062
Vaste O&M-kosten	[€/kW _{th} /jaar]	101	101	129	129
Variabele O&M-kosten	[€/kWh]	0,0019	0,0019	0,0019	0,0019

2.2.4 Diepe geothermie (geen basislast)

In deze categorie worden geothermiesystemen beschouwd ter verduurzaming van bijvoorbeeld warmtenetten of ter transitie naar gasloze woonwijken en utiliteitsgebouwen, al dan niet in combinatie met andere duurzame warmtebronnen. Opslagsystemen (zoals warmte-koudeopslag en andere seizoensopslagsystemen) vallen niet onder deze categorie. De dieptegrensafbakening voor deze categorie is gelijk aan die voor de categorie *Diepe geothermie (basislast)*. Een geothermieproject dat warmte levert aan een warmtenet in de gebouwde omgeving kent minder vollasturen per jaar dan een geothermisch project dat zijn warmte levert aan de glastuinbouwsector.³ Om hiervoor een verschil te maken wordt deze categorie *Diepe geothermie (geen basislast)* geadviseerd. De technisch-economische parameters voor de gebruikte referentie binnen deze categorie zijn weergegeven in Tabel 2-6.

Tabel 2-6. Technisch-economische parameters diepe geothermie (geen basislast)

Parameter	Eenheid	Eindadvies SDE++ 2021	Conceptadvies SDE++ 2022
Thermisch outputvermogen	[MW _{th}]	14	14
Vollasturen warmteafzet	[uur/jaar]	3500	3500
Elektriciteitsverbruik	[MWh/jaar]	3602	3602
Investeringskosten	[€/kW _{th}]	1809	1809
Vaste O&M-kosten	[€/kW _{th} /jaar]	124	124
Variabele O&M-kosten	[€/kWh]	0,0019	0,0019

De technisch-economische parameters zijn gebaseerd op een kleine projectpopulatie en daardoor gevoelig voor updates voor de jaarlijkse adviezen over de basisbedragen. Er zijn nu ook kosten opgenomen voor veiligheidseisen (dubbelwandige buizen).

We geven wel ter overweging om nadere eisen te stellen aan de aard van de warmtelevering om voor deze categorie in aanmerking te mogen komen, bijvoorbeeld een minimumpercentage (bijvoorbeeld 50%) van de geproduceerde geothermische warmte die direct aan een gebiedsverwarmingsdistributienetwerk geleverd wordt. Zonder nadere eisen bestaat de kans

³ Er is uitgegaan van een zogenoemd badkuippatroon in het warmtevraagprofiel van de referentiecasi (hoge warmtevraag in de wintermaanden, en een beduidend lagere vraag tijdens de zomermaanden). Dit leidt ertoe dat de referentie geothermische installatie voor 'geen basislastprojecten' 3500 vollasturen maakt. Uit de marktconsultatie kwamen signalen dat in bestaande grote stedelijke warmtenetten geothermie met een hoog aantal vollasturen (6000 à 7000 uur op jaarbasis), dus als basislast, ingezet kan worden. Hiertoe is echter de categorie *Diepe geothermie (basislast)* geschikt.

278 op oneigenlijk gebruik van deze categorie; wel moet gegarandeerd worden dat bij een vol-
 279 doende hoge retourtemperatuur na de eerste afnemer, nog steeds cascadering kan worden
 280 toegepast; hierbij wordt bij een tweede afnemer de retourtemperatuur verder uitgeoeld ten
 281 behoeve van zijn laagwaardigere warmtevraag.

2.2.5 Ultradiepe geothermie

282 In lijn met het vorige gepubliceerde advies zijn de grenswaarde van deze categorie gesteld
 283 op een diepte vanaf 4000 meter. De markt stelt ook dat 4000 meter als minimale diepte
 284 wordt aangenomen voor ultradiepe geothermie (UDG). De verwachte hogetemperatuur-
 285 warmtewinning van > 120 á 140 °C is ook de rationale om voor deze UDG-categorie voor
 286 een minimale diepte van 4000 meter te kiezen.
 287

288
 289 Beneden de 4000 meter zien we de kalksteenlagen in het Dinantien, samen met andere
 290 breukgerelateerde lithostratigrafische lagen, vooralsnog als het enige potentieel interessante
 291 aquifergesteente. Als zodanig is de 4000 meter ook te zien als een stratigrafische (gesteen-
 292 telaag) begrenzing voor het overgrote deel van Nederland.
 293

294 Deze categorie richt zich op toepassingen voor met name industriële processen en wordt ge-
 295 kenmerkt door de grotere boordiepte van het geothermisch doublet en de hogere onttrek-
 296 kingstemperatuur (> 120 á 140 °C). Voor deze categorie zijn meerdere configuraties
 297 doorgerekend. Twee theoretische vergelijkingsprojecten zijn hierbij nader bekeken, waarbij
 298 de boordiepte 4000 respectievelijk 6000 meter bedraagt en de diameter van de put van 8½
 299 inch. Het bronvermogen voor de verschillende cases varieert hierdoor tussen de 17 en 30
 300 MW_{th}. Voor deze twee vergelijkingsprojecten is een warmtetransportleiding meegenomen,
 301 waarvan de lengte varieert van een halve kilometer voor het kleinste project tot 4 kilometer
 302 voor het project met het hoogste bronvermogen. Vanwege de grotere boordiepte zijn ook
 303 kosten voor reservoirstimulatie meegenomen ter hoogte van 4 miljoen euro per geother-
 304 misch doublet.
 305

306 Tot en met het voorjaar van 2021 zijn er geen projecten aangevraagd die werkelijk onder
 307 deze categorie vallen. Het *UDG Green Deal*-onderzoeksproject als ondersteuning voor toe-
 308 komstige exploratie naar de dieper dan 4000 meter gelegen potentiële geothermische reser-
 309 voirs zou op termijn meer uitsluitsel kunnen geven over verwachte vermogens en kosten
 310 voor een UDG-project. Ook kunnen er geen gefundeerde herberekeningen voor deze catego-
 311 rie afgeleid worden uit de recente ervaringen van projecten tot 4000 meter.
 312

313 Tabel 2-7 geeft de technisch-economische parameters weer voor de mogelijke referentiecasi
 314 van deze categorie, met een boordiepte van 4000 meter en een bronvermogen van 17 MW_{th}.
 315 Er zijn geen zaken aangepast ten opzichte van het vorige gepubliceerde advies.
 316

Tabel 2-7. Technisch-economische parameters ultradiepe geothermie

Parameter	Eenheid	Eindadvies SDE++ 2021	Conceptadvies SDE++ 2022
Thermisch outputvermogen	[MW _{th}]	17	17
Vollasturen warmteafzet	[uur/jaar]	7000	7000
Elektriciteitsverbruik	[MWh/jaar]	5561	5561
Investeringskosten	[€/kW _{th}]	2717	2717
Vaste O&M-kosten	[€/kW _{th} /jaar]	107	107
Variabele O&M-kosten	[€/kWh]	0,0076	0,0076

318

2.2.6 Diepe geothermie (uitbreiding)

319
320 Geothermische projecten kunnen hun vermogen en dus duurzame warmteproductie vergro-
321 ten door het uitbreiden van het bestaande project met een extra put. Als referentie voor
322 deze categorie is uitgegaan van een uitbreiding van een doublet met een extra, derde put.
323 Door het boren van een extra put zal het geothermisch doublet veranderen in een geother-
324 misch triplet. Uitbreiding van bestaande projecten, niet beperkt tot een doublet, met een ex-
325 tra put kunnen ook onder deze categorie ingediend worden. Hiernaast kan ook een
326 vervangingsput (waarbij een bestaand project één put afsluit, en één nieuwe boort) inge-
327 diend worden onder deze categorie, mits er geen vermogensverlies plaatsvindt.
328
329 De dieptegrensaftbakening voor deze categorie is gelijk aan die voor de categorie *Diepe geo-*
330 *thermie (basislast)*.
331
332 Qua configuratie is voor de referentie ervan uitgegaan dat de extra put tot een vergelijkbare
333 diepte als het bestaande doublet wordt geboord. Waar een doublet bestaat uit een productie-
334 en injectieput, heeft een triplet twee productieputten en één injectieput, of twee injectieput-
335 ten en één productieput. Die uitbreiding kan dus zowel een productie- als injectieput zijn.
336 Naast de boorkosten voor het boren van de extra put zijn ook de benodigde bovengrondse
337 aanpassingen meegenomen bij de bepaling van het voorgestelde basisbedrag. Dit zijn bij-
338 voorbeeld kosten voor de pompen, warmtewisselaars, warmtetransportleiding en uitbreiding
339 van de installatie voor olie- en gasafvangst. Ook vereist de uitbreiding vaak aanpassingen –
340 en dus kosten – aan de ondergrondse infrastructuur van de bestaande putten.
341
342 Het extra debiet dat wordt gerealiseerd door het boren van een extra put kent verschillende
343 onzekerheden die een significant effect kunnen hebben op de kostprijs. Echter, een vergelijk-
344 bare onzekerheid in kostprijs bestaat ook voor nieuwe geothermische doubletten. Voor de
345 referentiecasse is het extra vermogen, gerealiseerd door inzet van een derde put, gebaseerd
346 op subsidie-aanvragen en de theoretische rekenmodellen. Op basis van deze gegevens is het
347 mogelijk dat er een verdubbeling van het vermogen gerealiseerd wordt door het in gebruik
348 nemen van een derde put bij een bestaand doublet.
349
350 De OPEX voor een dergelijke extra put wijken niet af van die van een doublet. Het boren van
351 een extra put leidt vaak tot een beduidende vermogenstoename. Maar net zoals bij doublet-
352 ten bestaat de kans dat het producerend vermogen niet het niveau haalt van het aange-
353 vraagde vermogen. We nemen aan dat de verhouding tussen het producerend vermogen en
354 het aangevraagd vermogen bij projectuitbreiding gelijk is aan die bij een nieuw doublet.
355
356

357 Tabel 2-8 geeft de technisch-economische parameters weer voor de referentiecasi van deze
358 categorie, met een boordiepte van 2200 meter en met een additioneel bronvermogen van 16
359 MW_{th}. Voor extra-putprojecten zal veelal gelden dat deze alleen worden uitgevoerd als het
360 debiet gunstig ingeschat kan worden. Hogere debieten in de ondergrond uiten zich ook in
361 een lagere kostprijs. De investeringen en onderhoudskosten zijn afgeleid van subsidie-aan-
362 vragen. Het aantal vullasturen voor deze categorie is gelijkgesteld aan het aantal vullasturen
363 bij de categorie *Diepe geothermie (basislast)*. Er zijn nu ook kosten opgenomen voor veilig-
364 heidseisen (dubbelwandige buizen). De andere parameters zijn niet gewijzigd ten opzichte
365 van het vorige gepubliceerde advies.
366
367

368 **Tabel 2-8. Technisch-economische parameters diepe geothermie (uitbreiding)**

Parameter	Eenheid	Eindadvies SDE++ 2021	Conceptadvies SDE++ 2022
Thermisch outputvermogen	[MW _{th}]	16	16
Vollasturen warmteafzet	[uur/jaar]	6000	6000
Elektriciteitsverbruik	[MWh/jaar]	4326	4326
Investeringskosten	[€/kW _{th}]	544	544
Vaste O&M-kosten	[€/kW _{th} /jaar]	115	115
Variabele O&M-kosten	[€/kWh]	0,0019	0,0019

369

370 2.2.7 Advies basisbedragen

371 In onderstaande tabel zijn de basisbedragen weergegeven.

372

373 **Tabel 2-9. Overzicht basisbedragen**

Categorie	Eindadvies SDE++ 2021 €/kWh	Conceptadvies SDE++ 2022 €/kWh
Ondiepe geothermie (geen basislast)	0,1044	0,1044
Ondiepe geothermie (basislast)	0,0705	0,0705
Diepe geothermie < 20 MW _{th} (basislast)	0,0518	0,0518
Diepe geothermie > 20 MW _{th} (basislast)	0,0455	0,0455
Diepe geothermie (geen basislast)	0,0997	0,0997
Ultradiepe geothermie	0,0694	0,0694
Diepe geothermie (uitbreiding)	0,0331	0,0331

374

Vragen en overwegingen

376

377

378 Graag willen we voor de volgende punten van marktpartijen vernemen hoe zij hier tegenaan
379 kijken en welke suggesties zij willen doen om mee te nemen in de advisering voor SDE++
380 geothermie 2022.

381

382 **Projectvermogen gerelateerde overwegingen:**

- 383 • Warmtepompen worden soms ingezet voor dieper uitkoelen van de retourstroom,
384 naast het verhogen van de bronwarmtetemperatuur. Gezien deze inzet van warmte-
385 pompen, verdient het ook aandacht nader te kijken naar het elektriciteitsverbruik
386 van dergelijke projecten, in relatie tot hun warmteproductie. Kunnen marktpartijen
387 techno- economische parameters delen over de warmtepomp, indien toegepast.

388

389 **SDE++-regeling gerelateerde overwegingen:**

- 390 • Is een uitbreidingscategorie voor bestaande projecten (van 6000 -> 7500 uur) wen-
391 selijk? Waarbij bijvoorbeeld enkel de OPEX voor subsidie in aanmerking zou komen.
- 392 • Een uitgangspunt is dat het merendeel (richtgetal is 80%) van projecten moet uit-
393 kunnen. Kunnen marktpartijen aangeven hoe we erachter komen welke projecten
394 geen aanvraag indienen. Kunne marktpartijen aangeven of daarbij locatie gerela-
395 teerde aspecten (ondergrondse issues bijvoorbeeld de geologische ondergrond, of
396 bovengrondse issues, bijvoorbeeld aanwezigheid van een warmtenet, etc..) een rol
397 spelen?
- 398 • Uit de specifieke CAPEX en OPEX lijkt een split bij 20MWth gerechtvaardigd. Ge-
399 vraagd wordt of het wenselijk is dat de split bij 20 MWth behouden blijft.
- 400 • Kunnen marktpartijen aangeven welke argumenten er kunnen zijn voor een verdere
401 vermogensklasse verdeling met bijbehorende basisbedragen, dus een verdere verde-
402 ling dan alleen <20 MW of >20 MW.
- 403 • Kunnen marktpartijen informatie delen over de kosten opbouw voor geothermiepro-
404 jecten, zie ook Figuur 0-4 en Figuur 0-6, uit Bijlage A kostenbevindingen. Te denken
405 valt hierbij aan CAPEX, OPEX en bronvermogengegevens opgesplitst naar de kosten-
406 posten. Bijvoorbeeld voor CAPEX: *boorkosten (incl. boorlengte along hole), pompen,*
407 *olie en gasafvangst, warmtewisselaars, bovengrondse installatie, warmtepompen,*
408 *warmtetransport, overige project kosten (graag benoemen).*

409

410 Voor deze marktuitvraag willen we graag marktpartijen consulteren over een aantal algeme-
411 nere zaken:

- 412 • Hoe kan een volloopsceario voor geothermieprojecten opgenomen worden in de re-
413 geling?
- 414 • Kunnen marktpartijen aangeven of er behoefte is aan een categorie geothermie ba-
415 sislast in stedelijk gebied? En wat zouden de techno economische parameters van
416 een dergelijk project zijn?
- 417 • Is een locatie-specifieke regeling voor de berekening van het basisbedrag gewenst?
418 Hoe zou zo een specifieke regeling kunnen opgezet worden?
- 419 • Zijn er gegevens beschikbaar voor grootschalige warmteopslag voor geothermie
420 geen basislast (zowel ondiep als diepe geothermie), waardoor het aantal vollasturen
421 zou kunnen worden verhoogd?

Bijlage A

Kostenbevindingen

Geothermie

Inleiding

De kostenbevindingen in dit hoofdstuk zijn een update van de in 2020 gepubliceerde kostenbevindingennotitie (in 't Groen, Mijnlief, & Smekens, 2020). Deze kostenbevindingen zijn gebaseerd op de subsidie-aanvraaggegevens tot en met de najaarsopenstelling van 2019. Voor de kostenbevindingen in deze notitie wordt naar alle kosten gekeken. Dit betekent niet dat ook alle kostenposten opgenomen worden bij de bepaling van de basisbedragen, zie de tabel in dit conceptadvies voor een overzicht van de wel en niet meegenomen kostenposten voor de basisbedragen.

Onderzochte geothermieprojecten

De onderzochte projecten zijn ingediend op basis van boordiepte in meter. Er is nog geen aanvraag geweest is voor een project ≥ 4000 meter. Onder de huidige categorie diepe geothermie zijn reeds een aantal projecten voor stadsverwarming ingediend.

Van in totaal 57 geothermieprojecten is op basis van door RVO aangeleverde data een anoniem en geaggregeerd overzicht gemaakt van de geologische en technisch-economische parameters. In dit kostenonderzoek is van een beperkt aantal projecten de data niet meegenomen, omdat deze om verschillende redenen niet als representatief werd beschouwd.

Voor deze kostenbevindingen zijn alleen projecten binnen de categorie *Diepe geothermie (basislast)* onderzocht. De boordiepte van de meeste projecten ligt tussen de 2000 en 3000 meter. De verschillende geothermieprojecten zijn voor de gemaakte analyse als volgt ingedeeld:

- *in productie*, 22 projecten
- *nog niet in productie (al wel gerealiseerd)*, 2 projecten
- *niet in productie (aangevraagd)*, 33 projecten.

Deze aantallen wijken af van wat TNO AGE rapporteert voor het jaarverslag aan ministerie van Economische Zaken en Klimaat, omdat voor de analyse enkel gerekend wordt met projecten waarvoor een eenduidige en complete dataset beschikbaar is.

Bronvermogen

Gerealiseerde vermogens wijken in de praktijk af van de vermogens gepresenteerd in de subsidie-aanvraagdocumentatie of van de beschikking door RVO. Daarom is het gebruikte bronvermogen voor het vaststellen van de investeringskosten voor de referentie-installatie

458 (in €/kWth) gebaseerd op een gecorrigeerd verwacht vermogen. In de praktijk ligt het gere-
459 aliseerde bronvermogen vaak onder het aangevraagde of beschikte bronvermogen, wat een
460 relatief grote invloed kan hebben op de inschatting van de specifieke investerings- en opera-
461 tionele kosten in €/kWth.

462

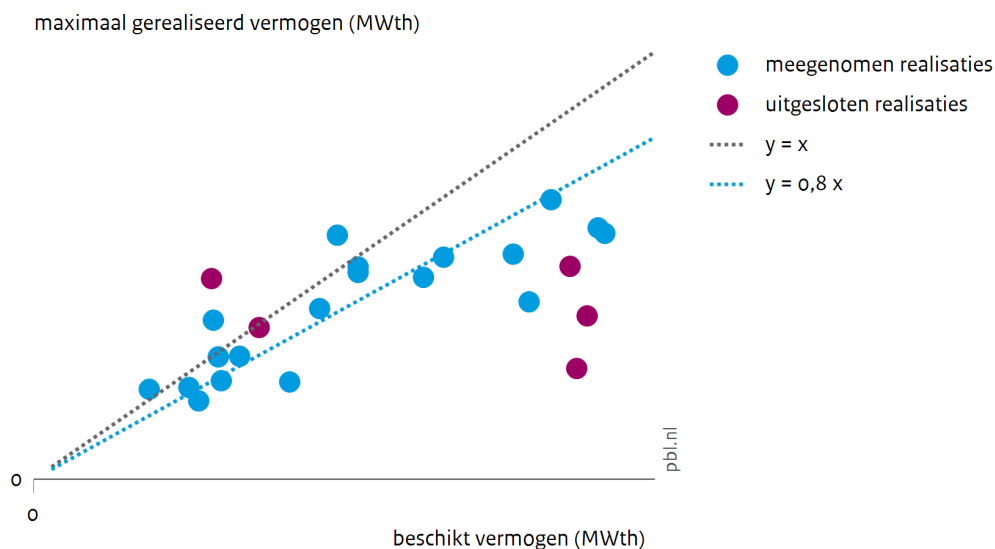
463 Er kunnen verschillende redenen zijn waardoor in de praktijk het bronvermogen lager ligt
464 dan het beschikte vermogen. Zo wordt het beschikte vermogen (P50-waarde van de geother-
465 mische vermogensdichtheidskansverdeling) begrensd door onder andere een maximaal toe-
466 laatbare pompdruk, terwijl in de praktijk mogelijk niet altijd op deze maximale pompdruk
467 wordt geopereerd, en dat een bepaald debiet leidend is voor de operationele bedrijfsvoering.
468 Daarnaast kennen geothermische projecten mogelijk ook een begrenzing in de afzet van de
469 geproduceerde warmte.

470

471 Het blijkt dat het daadwerkelijke gerealiseerde maximale vermogen gemiddeld op 80% van
472 het aangevraagde bronvermogen ligt; zie de trendlijn in Figuur 0-1 die de verhouding tussen
473 de aangevraagde en gerealiseerde vermogens aangeeft. Bij het vaststellen van deze factor
474 zijn bepaalde onder- en bovenpresterende projecten (gepresenteerd als rode stippen in Fi-
475 guur 0-1 niet meegenomen omdat de vermogensverhouding door een andere reden veroor-
476 zaakt wordt, b.v. door opgelegde eisen van SodM of omdat projecten te recent zijn
477 opgestart.

478

Vermogen-realisatiefactor



479

Bron: PBL, TNO AGE

480

481 **Figuur 0-1 Het maximaal gerealiseerde bronvermogen ten opzichte van het be-**
482 **schikte bronvermogen. Bron: PBL, TNO AGE.**

483

484 De factor van 80%, ofwel vermogensrealisatiefactor, wordt gebruikt om uit het aange-
485 vraagde vermogen, voor nog niet producerende projecten, het gecorrigeerd verwacht ver-
486 mogen te bepalen (gecorrigeerd verwacht vermogen = beschikbaar vermogen x
487 *vermogensrealisatiefactor*). In de verdere analyse is uitgegaan van het maximaal gereali-
488 seerd vermogen voor producerende projecten en van het gecorrigeerd verwacht vermogen
489 voor nog niet producerende projecten.

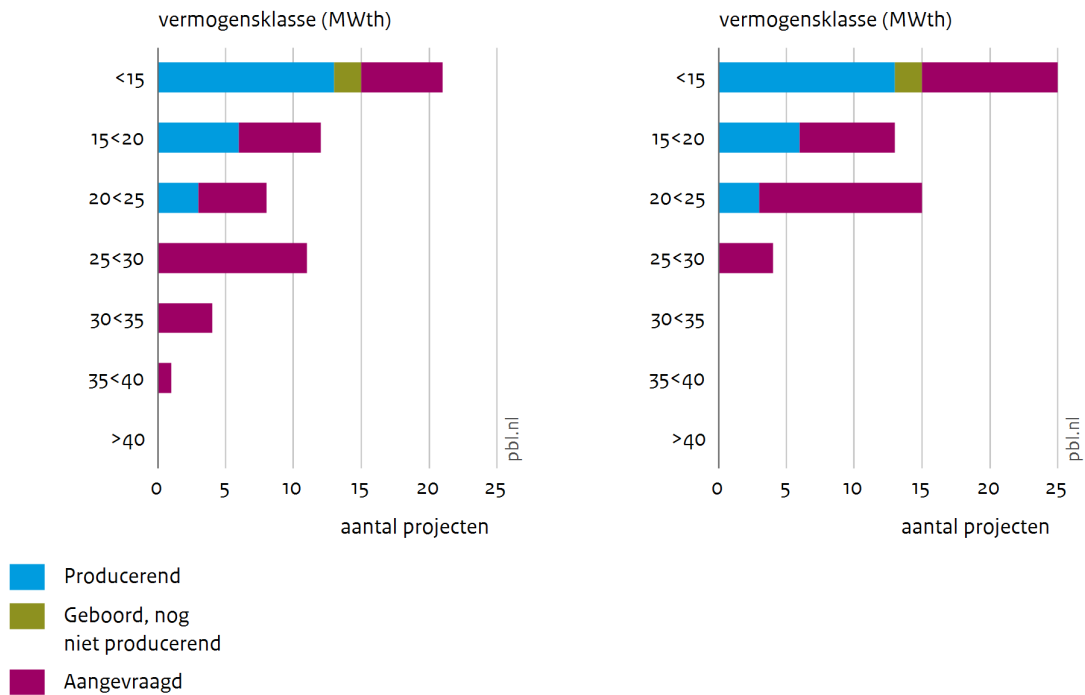
490

491 Figuur 0-2 geeft de verdeling van de onderzochte geothermieprojecten per bronvermogens-
 492 klasse weer, waarbij een onderscheid wordt gemaakt tussen het beschikt en gecorrigeerd
 493 verwacht vermogen.
 494

Status projecten naar vermogensklasse

maximaal gerealiseerd - en beschikt vermogen

maximaal gerealiseerd - en gecorrigeerd
 verwacht vermogen



495
 496
 497 **Figuur 0-2 Het aantal projecten voor geothermische warmte per maximaal gereali-**
 498 **seerd vermogen en het beschikt vermogen (links) en het maximaal gerealiseerd**
 499 **vermogen en het gecorrigeerd verwacht vermogen (rechts). Bron: PBL, TNO AGE.**
 500

501 Naarmate projecten beter en stabielier produceren kan het maximaal gerealiseerd vermogen
 502 per jaar toenemen. Daarnaast toont Figuur 0-2 aan dat meer recent aangevraagde geother-
 503 mische projecten, projecten zijn met grotere vermogens in vergelijking tot de eerdere gereaa-
 504 liseerde projecten. Hierbij speelt ook dat sommige nieuwe aangevraagde projecten door
 505 middel van het plaatsen van een warmtepomp de retourtemperatuur verder uitkoelen en zo-
 506 doende een hoger bronvermogen kunnen realiseren met gelijke debieten en pompdrukken.

507
 508 Met betrekking tot het aantal vollasturen per jaar kan worden gesteld dat dit voor de ver-
 509 schillende projecten in de praktijk varieert tussen de 3000 en 7400 uur. Voor dit conceptad-
 510 vies is de referentiewaarde van 6000 vollasturen voor de categorie basislast aangehouden,
 511 opnieuw in combinatie met een afzonderlijke categorie voor stadsverwarming met een lager
 512 aantal vollasturen.

513
 514 Tot op heden is geen producerend geothermisch project gerealiseerd dat enkel een stadsver-
 515 warmingsnet voedt, wel is er voor een aantal van deze projecten subsidie aangevraagd. De
 516 producerende projecten zijn momenteel alle te vinden in de glastuinbouwsector.

517 Investeringskosten

518 Een aantal geothermieprojecten draait reeds geruime tijd. Dit biedt inzicht in de verhouding
519 tussen de werkelijke investeringskosten van gerealiseerde projecten en de geschatte inves-
520 teringskosten bij de subsidie-aanvraag. Uit de analyse blijkt dat de werkelijke gemiddelde in-
521 vesteringskosten 5% hoger liggen dan de verwachte investeringskosten bij de subsidie-
522 aanvraag. Ook de OPEX blijken in de praktijk 5% hoger te liggen dan bij de gegevens zoals
523 aangeleverd in de aanvraagdocumenten voor subsidie.

524

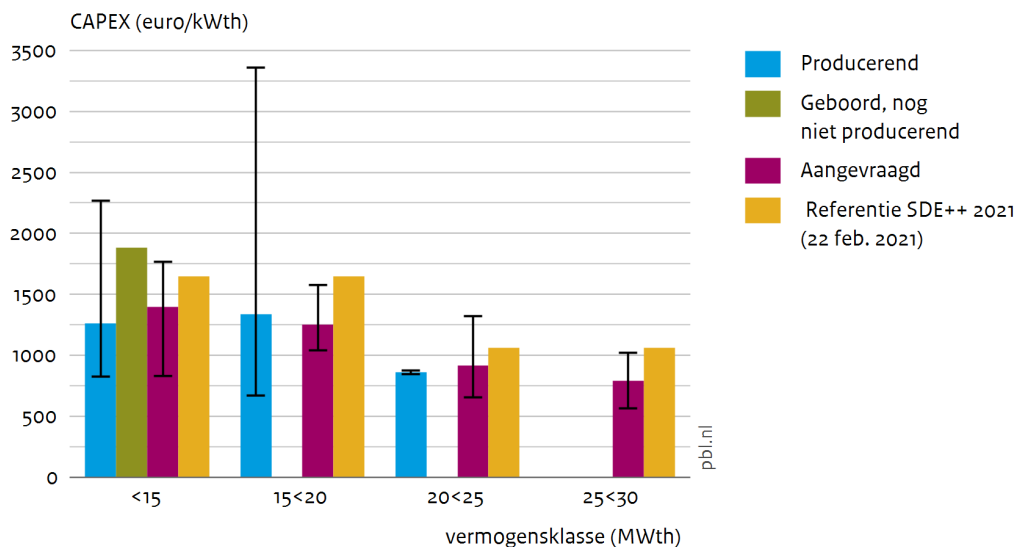
525 Figuur 0-3 geeft de gecorrigeerde investeringskosten weer per kWth en de waargenomen
526 spreiding erop, waarbij de verschillende projecten zijn geordend naar het gecorrigeerd ver-
527 wacht vermogen. Alle geselecteerde projecten hebben betrekking op diepe geothermie (ba-
528 sislast). Op basis van deze bevindingen handhaven we de onderverdeling tussen projecten
529 kleiner en groter dan 20 MWth.

530

531

532

Gecorrigeerde capex per (gecorrigeerde) vermogensklasse doublet basislast



533

534

535

536

537

538

Figuur 0-3 Specifieke investeringskosten, op basis van het bronvermogen. (bronvermogen is enerzijds gecorrigeerd voor projecten welke nog niet produceren, anderzijds is voor reeds producerende projecten het maximale vermogen genomen wat bereikt is). Bron: PBL

539

540

541

542

543

544

De spreidingsbalken geven de variatie in investeringskosten weer van de verschillende projecten binnen de gepresenteerde vermogensklasse. Hiernaast is ook de referentiecasi (zoals opgenomen in het eindadvies voor SDE++ 2021: <20 MWth met 1646 €/kWth en > 20 MWth met 1062 €/kWth) voor de categorie *Diepe geothermie (basislast)* weergegeven (oranje balk).

545

546

547

548

549

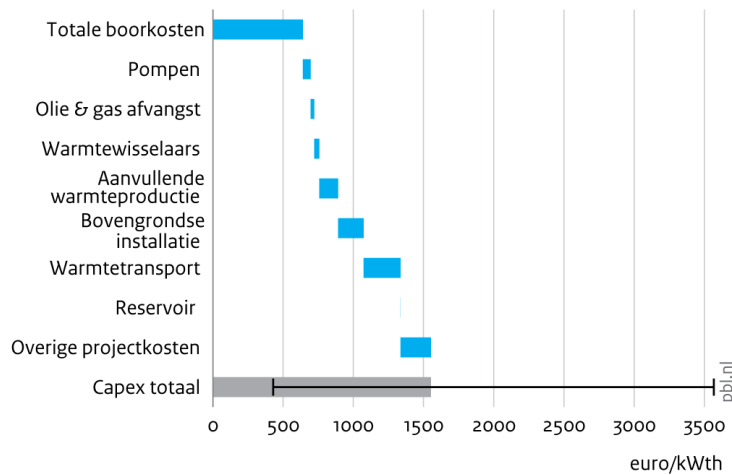
550

Figuur 0-4 geeft de gemiddelde samenstelling van de investeringskosten weer van de onderzochte projecten onderverdeeld naar verschillende kostenposten, als onderdeel van de totale investeringskosten.

Uit de geanalyseerde data (afkomstig van projecten welke een subsidie-aanvraag hebben ingediend) worden niet alle kostenposten meegenomen voor bij het vaststellen van de basisbedragen. Zo worden bijvoorbeeld kosten voor aanvullende warmteproductie door een

551 gasketel of -WKK of kosten voor een warmtedistributienet niet meegenomen. Boorkosten
552 maken de grootste individuele kostenpost uit, echter het aandeel in de totale investerings-
553 kosten verschilt over de verschillende projecten.
554

Verdeling CAPEX van de geanalyseerde projecten



555 **Figuur 0-4 Weergave van de opbouw van de gemiddelde samenstelling van de in-**
556 **vesteringskosten over de verschillende geanalyseerde projecten. De spreiding op**
557 **het totaal geeft inzicht in de totale spreiding over de geanalyseerde projecten.**
558 **Bron: PBL**
559
560

561 Operationele kosten

562 De beschouwde projecten in het kostenbevindingsonderzoek maken geen onderscheid tussen
563 vaste en variabele kosten, waardoor de operationele kosten (OPEX) alleen zijn weergegeven
564 als jaarlijkse kosten per kWh.

565 Figuur 0-5 is op dezelfde manier opgesteld als Figuur 0-3, maar dan voor de OPEX.

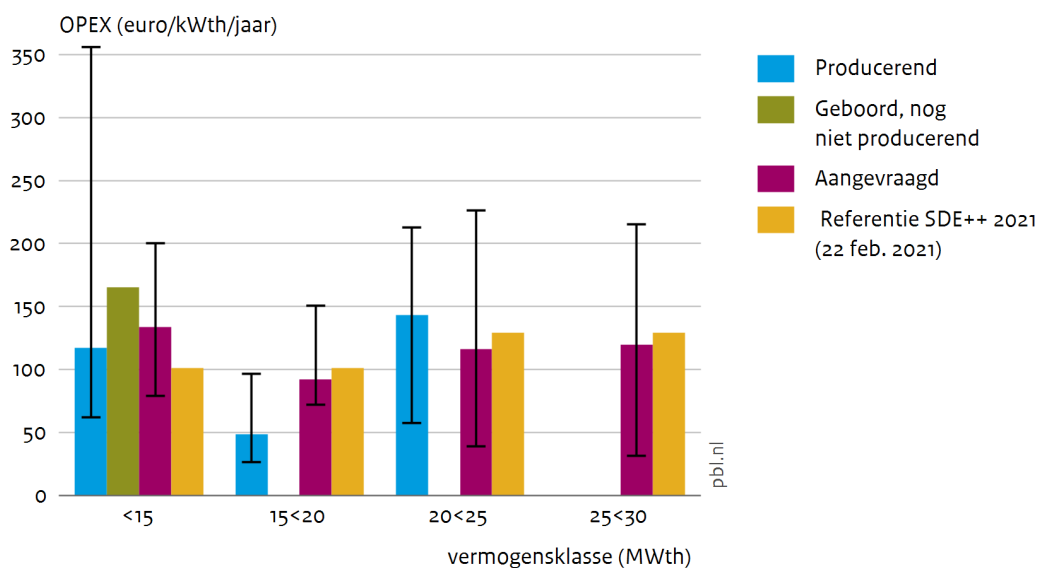
566

567 Figuur 0-6 geeft de gemiddelde samenstelling van de OPEX uit het kostenonderzoek, ver-
568 deeld over de verschillende projecten.

569

570

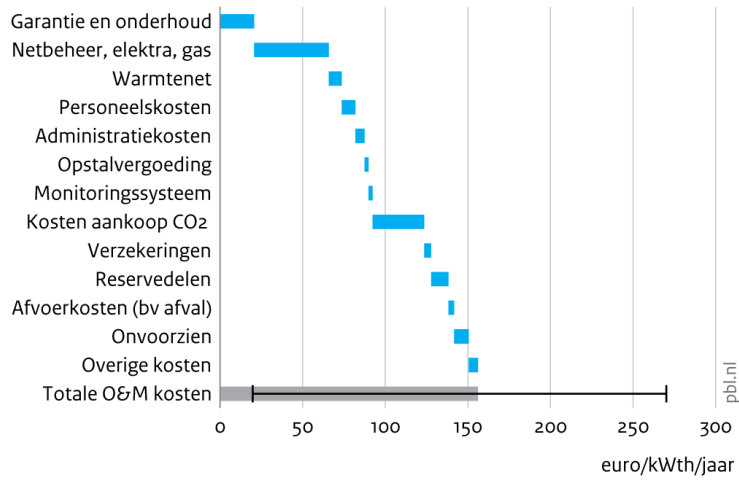
Gecorrigeerde opex per (gecorrigeerde) vermogensklasse doublet basislast



571
572 **Figuur 0-5 De gecorrigeerde OPEX uitgezet tegen het maximaal gerealiseerde of**
573 **gecorrigeerd verwacht vermogen, onderverdeeld naar reeds producerende en nog**
574 **niet producerende projecten. Bron: PBL**

575
576 Figuur 0-6 geeft de opbouw per kostenpost weer van de gemiddelde OPEX in €/kW. Ook deze
577 data is afkomstig uit de subsidieaanvragen van de individuele geothermie projecten. Het valt
578 hierbij op dat de kosten voor de inkoop van CO₂ bij geothermieprojecten in de glastuinbouw,
579 en de kosten voor elektra en gas de grootste kostenpost uitmaken voor de O&M-kosten; met
580 het voorbehoud dat over de totale samenstelling geen conclusies getrokken kunnen worden.
581 Ook hier geldt dat niet alle in de figuur opgenomen kostenposten meegenomen worden in de
582 berekening van het basisbedrag. Zo zijn bijvoorbeeld kosten aankoop CO₂ voor CO₂ bemes-
583 ting van gewassen in de glastuinbouwsector, niet meegenomen in de vaststelling van het ba-
584 sisbedrag.
585

Verdeling OPEX van de geanalyseerde projecten



587
588
589
590
591
592

Figuur 0-6 : Weergave van de opbouw van de gemiddelde samenstelling van de OPEX over de verschillende geanalyseerde projecten. De spreiding op het totaal geeft inzicht in de totale spreiding over de geanalyseerde projecten. Bron: PBL

593
594
595
596
597

COP warmtepomp Ondiepe Geothermie

Tekstblok 1 Hoe de efficiëntie van warmtepompen bij ondiepe geothermie (OGT) in de SDE++ berekeningen meegenomen is.

Hoe de efficiëntie van warmtepompen bij ondiepe geothermie (OGT) in de SDE++ berekeningen meegenomen is.

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

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

Los van allerlei technische eigenschappen van warmtepompen, is het voor de berekening van het basisbedrag van een categorie binnen de SDE++ van belang om te weten wat de representatieve efficiëntie, uitgedrukt als Coëfficiënt of Performance (COP), is. De COP van een warmtepomp (COP_h) wordt als volgt berekend:

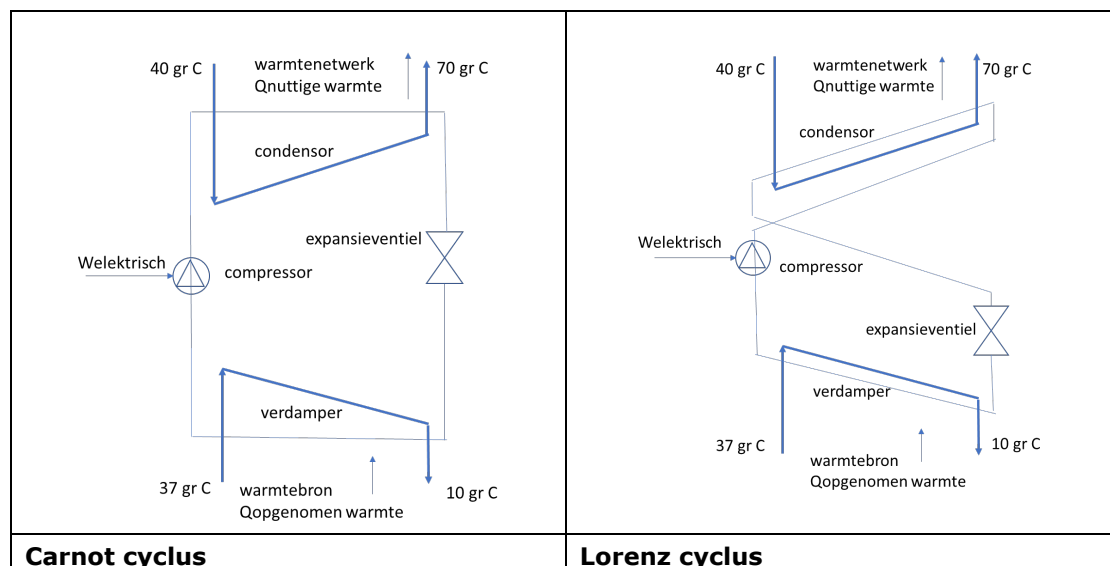
$$COP_h = \frac{Q_{\text{nuttige warmte}}}{W_{\text{elektrisch}}} = \frac{Q_{\text{opgenomen warmte}}}{W_{\text{elektrisch}}} + 1$$

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

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

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

Figuur 0-7.



De theoretische COP wordt voor beide cycli als volgt bepaald:

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

Voor de SDE++ referentiesituatie OGT 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 (zie figuren). De brontemperaturen bedragen 37 °C aanvoer en 10 °C retour.

De theoretische COP bedraagt dan 5,5 voor een Carnot cyclus en 10,0 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 referentie-installatie OGT 4,2 bedraagt.

599

Bijlage B Geothermie;

600

definities

601

Lijst van definities – Geothermie

602

De definities opgenomen in deze lijst van definities, zijn geordend volgens de volgende onderverdeling:

603

604

- Definities - Geothermieproject

605

- Definities – Vermogen & Energie

606

- Definities – Energieproductie

607

- Definities - Economie

608

- Definities - Diepte en/of stratigrafisch bereik geothermieprojecten

609

610

Definities - Geothermieproject

611

612

Afnamepunt van de geothermische warmte / referentiepunt

613

Het afnamepunt van de geothermische warmte is een gedefinieerde locatie (*reference point*) in de productieketen waar het geothermische energieproduct wordt gemeten of beoordeeld.

614

615

Het afnamepunt van de geothermische warmte is meestal het verkooppunt aan derden of het punt waar de geothermische warmte wordt ingezet voor verrichting van activiteiten. De verkoop of productie van geothermische energieproducten wordt gemeten en gerapporteerd in termen van schattingen van de resterende hoeveelheden die dit punt oversteken vanaf de ingangsdatum van de evaluatie⁴.

619

620

621

Geothermische bron

622

In de context van de geothermische energie is de hernieuwbare energiebron de thermische energie die zich bevindt in een hoeveelheid gesteente, sediment en / of grond, inclusief eventuele ingesloten vloeistoffen, die beschikbaar is voor winning en omzetting in energieproducten. Deze bron wordt de geothermische energiebron genoemd en is equivalent aan de termen *deposit* of *accumulation* die wordt gebruikt voor vaste mineralen en fossiele brandstoffen. De geothermische energiebron komt voort uit de productie en injectie bron van het geothermisch systeem, gedurende een gespecificeerde tijdsperiode⁵.

624

625

626

627

628

⁴ De definitie voor 'afnemer van de geothermische warmte' is afgeleid van de volgende Engelstalige definitie voor 'reference point', uit "Specifications for the application of the United Nations Framework Classification for Fossil Energy and Mineral Reserves and Resources 2009 (UNFC-2009) to Geothermal Energy Resources":

'Reference Point': The Reference Point is a defined location in the production chain where the quantities of Geothermal Energy Product are measured or assessed. The Reference Point is typically the point of sale to third parties or where custody is transferred to the entity's downstream operations. Sales or production of Geothermal Energy Products are normally measured and reported in terms of estimates of remaining quantities crossing this point from the Effective Date of the evaluation (UNECE, 2016)

⁵ De definitie voor 'geothermische bron' is afgeleid van de volgende Engelstalige definitie voor 'geothermal source', uit "Specifications for the application of the United Nations Framework Classification for Fossil Energy and Mineral Reserves and Resources 2009 (UNFC-2009) to Geothermal Energy Resources":

'Geothermal Source': In the geothermal energy context, the Renewable Energy Source is the thermal energy contained in a body of rock, sediment and/or soil, including any contained fluids, which is available for extraction and conversion into energy products. This source is termed the Geothermal Energy Source, and is equivalent to the terms 'deposit' or 'accumulation' used for solid minerals and fossil fuels. The Geothermal Energy Source results from any influx to outflux from or internal generation of energy within the system over a specified period of time (UNECE, 2016).

629 **Geothermisch doublet**

630 Een geothermisch productiesysteem met één productie- en één injectieput.

631

632 **Geothermisch energieproduct**

633 Een geothermisch energieproduct is een energieproduct dat te koop is in een markt. Voor-
634 beelden van geothermische energieproducten zijn elektriciteit en warmte. Andere producten,
635 zoals anorganische materialen (bijvoorbeeld siliciumdioxide, lithium, mangaan, zink, zwavel),
636 gasen of water geëxtraheerd uit de geothermische energiebron in hetzelfde extractieproces
637 kwalificeren zich niet als geothermische energieproducten. Wanneer deze andere producten
638 worden verkocht, dienen de inkomstenstromen echter in de economische evaluatie worden
639 opgenomen⁶.

640

641 **Geothermisch productiesysteem**

642 Een installatie met alle apparatuur benodigd om de geothermische bron (*Geothermal Source*)
643 te verbinden met de plek (*reference point*) waar het Geothermisch Energieproduct (*Geother-*
644 *mal Energy product*) (momenteel alleen warmte) wordt overgedragen aan de afnemer van
645 de geothermische warmte⁷.

646

647 **Geothermisch project**

648 Het Geothermisch Project is de verbinding tussen de Geothermische Bron (*Geothermal*
649 *Source*) en de hoeveelheid Geothermisch Energieproduct (*Geothermal Energy Product*) en
650 geeft de basis voor economische evaluatie en (investerings-)beslissingen of besluiten. Het
651 geothermisch project omvat alle aanwezige systemen en apparatuur die de verbinding tus-
652 sen de Geothermische Bron en het Referentiepunt (*Reference Point*) alwaar de Geothermi-
653 sche Energie Producten worden verkocht, gebruikt, overgedragen of afgestaan. Het project
654 omvat alle apparatuur en systemen benodigd voor de extractie en /of conversie van energie
655 waaronder bijvoorbeeld: productie en injectie putten, warmtewisselaars, verbindende buizen,
656 energieconversiesystemen en benodigde additionele apparatuur. In het beginstadium van
657 een evaluatie traject is een project mogelijkwerwijs slechts gedefinieerd op conceptueel ni-
658 veau. Dit in tegenstelling tot projecten die vergevorderd in het evaluatietraject zijn en een
659 hoge mate van detail in de projectdefinitie hebben. In de praktijk kan een geothermisch pro-
660 ject één of meerdere geothermische productiesystemen omvatten.⁸

661

⁶ De definitie voor 'geothermisch energieproduct' is afgeleid van de volgende Engelstalige definitie voor 'geothermal energy product', uit "Specifications for the application of the United Nations Framework Classification for Fossil Energy and Mineral Reserves and Resources 2009 (UNFC-2009) to Geothermal Energy Re-sources":

'**Geothermal Energy Product**': A Geothermal Energy Product is an energy commodity that is saleable in an established market. Examples of Geothermal Energy Products are electricity and heat. Other products, such as inorganic materials (e.g. silica, lithium, manganese, zinc, sulphur), gases or water extracted from the Geothermal Energy Source in the same extraction process do not qualify as Geothermal Energy Products. However, where these other products are sold, the revenue streams should be included in any economic evaluation (*UNECE, 2016*).

⁷ Geothermische productiesystemen kunnen gebruikmaken van een warmtepomp (ten behoeve van verdere uitkoeling van de retourstroom naar de injectieput) en van bijvoorbeeld een koppeling aan een warmtenet.

⁸ Voor de Engelstalige definities voor 'geothermal source', 'geothermal energy product', en 'reference point' wordt verwezen naar de noot onder de definitie 'Geothermisch productiesysteem'. De definitie voor 'geothermisch project' is afgeleid van de volgende Engelstalige definitie voor 'geothermal project':

Geothermal Project: The Project is the link between the Geothermal Energy Source and quantities of Geothermal Energy Products and provides the basis for economic evaluation and decision-making. In the context of geothermal energy, the Project includes all the systems and equipment connecting the Geothermal Energy Source to the Reference Point(s) where the final Geothermal Energy Products are sold, used, transferred or disposed of. The Project shall include all equipment and systems required for extraction and/or conversion of energy, including, for example, production and injection wells, ground or surface heat exchangers, connecting pipework, energy conversion systems, and any necessary ancillary equipment. In the early stages of evaluation, a Project might be defined only in conceptual terms, whereas more mature Projects will be defined in significant detail (*UNECE, 2016*).

Noot: geothermische projecten kunnen gebruik maken van een warmtepomp (ten behoeve van verdere uitkoeling van de retourstroom naar de injectieput) en van bijvoorbeeld een koppeling aan een warmtenet.

Noot: een geothermisch project kan bestaan uit een 'geothermisch veld'

- 662 **Geothermie-projecten - in productie**
 663 Een verzameling van geothermie projecten die reeds gerealiseerd en in productie zijn.⁹
 664
 665 **Geothermie-projecten - nog niet in productie (al wel gerealiseerd)**
 666 Een verzameling van geothermie projecten die reeds gerealiseerd maar nog niet in productie
 667 zijn. Onder gerealiseerd wordt hierbij verstaan, de projecten waarvoor de putten zijn ge-
 668 boord en getest, de installatie gereed is, maar waar nog geen warmte geproduceerd wordt.
 669 In de tekst wordt hiervoor ook de term 'geboord maar nog niet producerend' gebruikt.¹⁰
 670
 671 **Geothermie-projecten - niet in productie (aangevraagd)**
 672 Een verzameling van geothermieprojecten welke nog niet gerealiseerd zijn, maar waarvoor
 673 wel subsidie is aangevraagd.¹¹
 674
 675 **Geothermisch veld**
 676 In de definitie van een geothermisch veld zit vaak de aanwezigheid van een temperatuurano-
 677 malie besloten. Voor de Nederlandse situatie is een dergelijke definitie niet geschikt.¹²
 678 In Nederland is de temperatuur anomalie er niet of niet goed te bepalen; het gaat in Neder-
 679 land enkel om de definitie van een voor de winning van warm formatiewater uit een produc-
 680 tieve aquifer. Voor deze notitie gebruiken we de volgende conceptdefinitie voor een
 681 geothermisch veld: Een geografisch beperkt gebied (bijvoorbeeld voorkomen van een aquifer
 682 in een bepaald dieptebereik of door de begrenzing van een vergunning) waarbinnen op effici-
 683 ente, duurzame en doelmatige wijze de productie van aardwarmte ter hand genomen is of
 684 wordt en waarbij meerdere geothermische productiesystemen dezelfde aquifer of aquifers
 685 benutten.
 686
 687 **Extra put**
 688 Een extra put bij een 'geothermisch project'.¹³
 689

Definities – Vermogen & Energie

- 690
 691
 692 **Aangevraagd vermogen**
 693 Het vermogen dat de operator aanvraagt bij RVO.nl. Dit is het P50-vermogen van de geo-
 694 thermische vermogen kans-dichtheid-functie opgesteld op basis van de geologische onder-
 695 bouwing en DoubletCalc-berekening van de aanvrager.

⁹ Voor geothermische projecten - in productie geldt het volgende:

- Een project in productie is automatisch een gerealiseerd project.
- Productie- en injectiedebiet gegevens beschikbaar via NLOG.
- CAPEX/OPEX-gegevens beschikbaar via subsidie aanvragen (via RVO.nl) en in sommige gevallen ook via andere databestanden. De data van gerealiseerde projecten is nauwkeuriger daar deze de werkelijke kosten weergeeft, echter deze data is niet bekend van alle gerealiseerde projecten.

¹⁰ Voor geothermie projecten - nog niet in productie (al wel gerealiseerd) geldt het volgende:

- Energie-productiegegevens beschikbaar op basis van het product van het 'P50 vermogen uit het DoubletCalc realisatiescenario', en het aantal vollasturen gebaseerd op de referentie case uit de categorie waarin wordt aangevraagd.
- Lokale reservoir eigenschappen bekend uit puttest, systeemtest en/of andere meetreeksen
- CAPEX/OPEX-gegevens beschikbaar via subsidie aanvragen (via RVO.nl).

¹¹ Voor geothermie projecten - niet in productie (aangevraagd) geldt het volgende:

- Energie-productiegegevens beschikbaar op basis van het product van het 'beschikt vermogen', en het aantal vollasturen van het aantal vollasturen van de referentie case uit de categorie waarin wordt aangevraagd.
- CAPEX/OPEX-gegevens beschikbaar via subsidie aanvragen (via RVO.nl).

¹² "Geothermal field is a geographical definition, usually indicating an area of geothermal activity at the earth's surface. In cases without surface activity this term may be used to indicate the area at the surface corresponding to the geothermal reservoir below" (Gehring & Loksha, 2012).

¹³ Een extra put kan een derde put bij een geothermische doublet zijn, maar kan ook een vierde of bijvoorbeeld vijfde put van een bestaand geothermisch project zijn. De regeling staat aanvragen voor een extra put toe als aparte categorie.

- 696 **Beschikt vermogen**
- 697 *Pre-drill* Geothermisch Vermogen van het geothermische project in de subsidiebeschikking,
698 van RVO.nl.
- 699
- 700 **Bronvermogen**
- 701 Vermogen van het geothermisch project, waarbij het berekeningsmethode voor het bepalen
702 van het vermogen afhankelijk is van het type project:
- 703 - Voor 'geothermieprojecten - in productie' wordt verwezen naar het 'maximaal gerea-
704 liseerde vermogen'.
- 705 - Voor 'geothermieprojecten - nog niet in productie (al wel gerealiseerd)' wordt verwe-
706 zen naar het 'vermogen van het DoubletCalc-realisatiescenario.
- 707 - Voor 'geothermieprojecten - niet in productie (aangevraagd)' wordt verwezen naar
708 het 'beschikt vermogen'.
- 709
- 710
- 711 **DoubletCalc-realisatiescenario**
- 712 Dit is het vermogen dat berekend met behulp van DoubletCalc1D wordt op basis van de geo-
713 logische parameters voortvloeiend uit de boor- en testgegevens van de putten en de gereali-
714 seerde put- en installatieconfiguratie.
- 715
- 716 **Energie**
- 717 Als het vermogen van het geothermisch productiesysteem wordt ingezet door het systeem
718 draaiuren te laten maken wordt energie geproduceerd. Energie wordt gerapporteerd in J, GJ,
719 PJ of kWh.
- 720
- 721 **Gecorrigeerd verwacht vermogen**
- 722 Het product van het bronvermogen van 'geothermieprojecten - nog niet in productie (al wel
723 gerealiseerd)' en 'geothermieprojecten - niet in productie (aangevraagd)' met de vermogens-
724 realisatiefactor.
- 725
- 726 **Geothermische hulpbron**
- 727 Geothermische hulpbron (*geothermal energy resources*) zijn de cumulatieve hoeveelheden
728 Geothermische Energieproducten die in de toekomst uit de Geothermische Bron zullen wor-
729 den geproduceerd vanaf de referentie datum tot een moment in de toekomst (tot het einde
730 van de Projectlooptijd) gemeten of berekend bij het referentiepunt (*reference point*).
- 731 Dat deel van het geothermisch potentieel van een geothermisch project dat onder de rege-
732 ling valt is: het bronvermogen * aantal vollasturen per jaar (??uur) * looptijd (=15 jaar) =
733 ?? GJ of kWh.¹⁴
- 734
- 735 **Het te gebruiken vermogen voor basisbedragberekening**
- 736 Het door TNO AGE aangegeven bronvermogen dat gebruikt is voor de parameters en figuren
737 in deze notitie en voor de onderliggende berekeningen voor het basisbedrag.
- 738
- 739 **Maximaal gerealiseerd vermogen**
- 740 - *Post-drill* jaarvermogen van een producerend (of in het verleden producerend) geo-
741 thermisch project, waarbij de maand waarin het hoogste vermogen is gerealiseerd
742 representatief wordt gemaakt voor de gehele levensduur van het project. Dit wordt

¹⁴ Definitie voor 'Geothermische hulpbron' is afgeleid van de volgende Engelstalige definitie voor 'Geothermal Energy Resources' uit: 'Specifications for the application of the United Nations Framework Classification for Fossil Energy and Mineral Reserves and Resources 2009 (UNFC-2009) to Geothermal Energy Resources' september 2016':
Geothermal Energy Resources: Geothermal Energy Resources are the cumulative quantities of Geothermal Energy Products that will be extracted from the Geothermal Energy Source, from the Effective Date of the evaluation forward (till the end of the Project Lifetime/Limit), measured or evaluated at the Reference Point

743 synoniem geacht aan de in de geothermische wereld gebruikte term *installed po-*
744 *wer*.¹⁵

745

746 **Output vermogen**

747 In de tabellen van de adviestekst gebruikt vermogen, wat gelijk is gesteld aan het bronver-
748 mogen.

749

750 **P50-vermogen subsidie aanvraag**

751 Zie definitie 'aangevraagd vermogen'

752

753 **P50-vermogen subsidie aanvraag -TNO AGE-audit**

754 De P50-waarde van de geothermische vermogen kans-dichtheid-functie opgesteld n.a.v. de
755 TNO-AGE-audit van het "aangevraagde vermogen". Mede op basis van dit vermogen defini-
756 eert RVO.nl het "beschikte vermogen". RVO.nl kan iets anders beschikken dan de TNO AGE-
757 audit voorstelt.

758

759 **Vermogen**

760 Vermogen is een natuurkundige grootheid voor de energie (arbeid) per tijdseenheid. De SI-
761 eenheid voor vermogen is de watt (W). Een geothermisch productiesysteem is uitgelegd /
762 gebouwd om een bepaald vermogen te kunnen realiseren. Het vermogen van een geother-
763 misch productiesysteem wordt in het algemeen uitgedrukt in megawatt thermisch (MW_{th}).
764

765

765 **Vermogensrealisatiefactor**

766 Het quotiënt van het 'maximaal gerealiseerde vermogen' en het 'beschikt vermogen' ('Ver-
767 mogensrealisatiefactor' = 'maximaal gerealiseerd vermogen' / 'beschikt vermogen')

768

769 **Definities – Energieproductie**

770

771 **Draaiuren per jaar**

772 Het aantal uren per jaar dat in het primaire circuit (zoute kant van de warmtewisselaar) wa-
773 ter wordt rondgepompt en waar tijdens die formatiewatercirculatie warmte wordt onttrokken
774 aan deze primaire waterstroom.

775

776 **Jaarlijkse energieproductie**

777 Dit is de hoeveelheid energie, die ook in het kader van de subsidieregeling gemeten en ge-
778 rapporteerd wordt (op maandbasis) aan RVO.nl teneinde de subsidie-uitkering te krijgen. Dit
779 wordt bepaald in een conform de verplichting in een door CertiQ gecertificeerde meetinstalla-
780 tie.¹⁶

781

782 **Vollasturen per jaar**

783 Het quotiënt van de "totale jaarlijkse energieproductie" ten opzichte van het 'bronvermogen',
784 uitgedrukt in uren per jaar.

785

786 **Formule 1 Berekening van het aantal vollasturen per jaar.**

$$787 \text{ Vollasturen per jaar (uur)} = \frac{\text{Energieproductie per jaar (Wh)}}{\text{Bronvermogen (W)}}$$

788

¹⁵ Maximaal gerealiseerd vermogen = (energie geproduceerd in de maand waarin het hoogste bron vermogen is behaald / uren per maand) uitgedrukt in MW_{th} per jaar

¹⁶ Zie ook <http://www.certiq.nl/energiebron/warmte/geothermie/overzicht-rapportage-eisen/> voor meer informatie over de rapportage eisen.

Definities - Economie

789

790

791 **Investeringskostenrealisatiefactor**

792 Het gemiddelde van het quotiënt van de werkelijke investeringskosten zoals bekend van ge-
793 realiseerde projecten, gedeeld door de verwachte investeringskosten als opgenomen in de
794 subsidieaanvraag.

795

796 **O&M-kostenrealisatiefactor**

797 Het gemiddelde van het quotiënt van de werkelijke OPEX zoals bekend van gerealiseerde
798 projecten, gedeeld door de verwachte OPEX als opgenomen in de subsidieaanvraag.

799

800 **Gecorrigeerde investeringskosten**

801 Het product van de investeringskosten van 'geothermieprojecten - nog niet in productie (al
802 wel gerealiseerd)' en geothermieprojecten - niet in productie (aangevraagd)' met de investe-
803 ringskostenrealisatiefactor.

804

805 **Gecorrigeerde O&M-kosten**

806 Het product van de OPEX van 'geothermieprojecten - nog niet in productie (al wel gereali-
807 seerd)' en geothermieprojecten - niet in productie (aangevraagd)' met de O&M-kostenreali-
808 satiefactor.

809

810 **Verwachte kosten**

811 De investeringskosten en OPEX zoals vermeld in documenten horende bij de subsidieaan-
812 vraag bij RVO.nl.

813

814 **Werkelijke kosten**

815 De investeringskosten en OPEX van gerealiseerde projecten.

816

817 Definities - Diepte en/of stratigrafisch bereik geo- 818 thermieprojecten

819

820 Geothermische doelaquifers in een bepaalde laag bevinden zich op verschillende dieptes in
821 de Nederlandse ondergrond. Dit betekent dat één aquiferlaag op verschillende dieptes voor-
822 komt in Nederland.

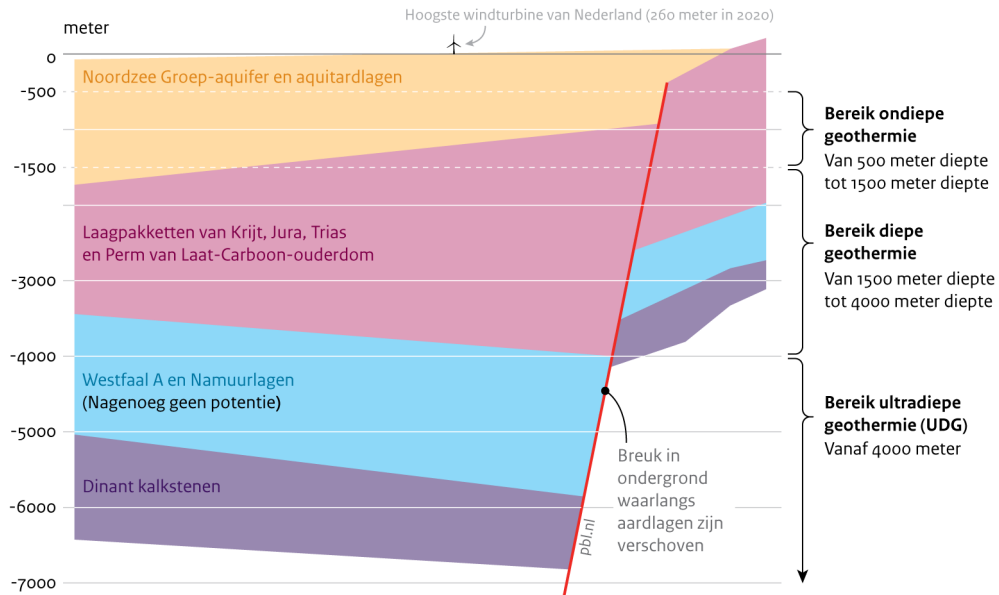
823

824 **Toelichting bij het 'bereik diepe geothermie': dit betreft voornamelijk laagpakket-**
825 **ten van Krijt, Jura, Trias en Perm (Rotliegend) van Laat Carboon ouderdom**

826

827

Opbouw aardlagen in Nederland



Bron: PBL

829

830

831 **Ondiepe geothermie**

832 Ondiepe geothermie wordt in dit advies gedefinieerd als het winnen van aardwarmte uit
 833 aardlagen vanaf 500 meter diep tot een diepte van 1500 meter. Vooralnog betreffen dit
 834 hoofdzakelijk de laagpakketten uit de Noordzee Groep

835

836 **Diepe geothermie**

837 Diepe geothermie wordt gedefinieerd als het winnen van warmte uit laagpakketten vanaf
 838 1500 meter en ondieper dan 4000 meter. Vooralnog betreffen dit hoofdzakelijk laagpakket-
 839 ten van Laat Krijt, Vroeg Jura, Trias, Perm en Laat-Carboon-ouderdom, bestaande uit sedi-
 840 menten van Rijnland, Schieland, Onder Germaanse Trias, Boven-Rotliegend en Zeeland
 841 Groepen en mogelijk sedimenten uit de Krijtkalk, Zechstein en Limburg Groepen.

842

843 Afhankelijk van de locatie in Nederland liggen de laagpakketten typisch voor ultradiepe geo-
 844 thermie (UDG) ook ondieper en vallen zij derhalve ook in deze categorie.

845

846 **Ultradiepe geothermie**

847 Ultradiepe geothermie wordt gedefinieerd als het winnen van warmte uit laagpakketten die
 848 vanaf en dieper dan 4000 meter liggen. Vooralnog zijn dat gesteentepakketten van Vroeg-
 849 Carboon (Dinant kalksteen) en Devoon ouderdom, het Devoon is ouder dan het Vroeg-Car-
 850 boon en staat niet in de figuur.

851

Literatuur

852

853 Gehringer, M., & Loksha, V. (2012). *Geothermal Handbook: Planning and financing power*
854 *generation*. Washington, USA: ESMAP-World Bank.

855 in 't Groen, B., Mijnlief, H., & Smekens, K. (2020). *Conceptadvies SDE++ 2020,*
856 *geothermie*. Den Haag: PBL.

857 UNECE. (2016). *Specifications for the application of the United Nations Framework*
858 *Classification for Fossil Energy and Mineral Reserves and Resources 2009 (UNFC-*
859 *2009) to Geothermal Energy Re-sources*. UNECE. Opgehaald van
860 [https://www.unece.org/fileadmin/DAM/energy/se/pdfs/UNFC/UNFC_GEOTH/UNFC.Ge](https://www.unece.org/fileadmin/DAM/energy/se/pdfs/UNFC/UNFC_GEOTH/UNFC.Geothermal.Specs.pdf)
861 [othermal.Specs.pdf](https://www.unece.org/fileadmin/DAM/energy/se/pdfs/UNFC/UNFC_GEOTH/UNFC.Geothermal.Specs.pdf)

862

863