



1 **CONCEPTADVIES SDE++ CO₂-**
2 **REDUCERENDE OPTIES**

3 Grootschalige warmtepompen

4

5 **Notitie**

6 **Marc Marsidi**

7 **Sander Lensink**

8 **26 juli 2019**

PBL

9 **Colofon**

10 **Conceptadvies SDE++ CO2-reducerende opties: Grootschalige warmtepompen**

11 © PBL Planbureau voor de Leefomgeving

12 Den Haag, 2019

13 PBL-publicatienummer: 3746

14 **Contact**

15 sde@pbl.nl

16 **Auteurs**

17 Marc Marsidi, Sander Lensink

18 **Redactie figuren**

19 Beeldredactie PBL

20 **Eindredactie en productie**

21 Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding:
22 Marc Marsidi en Sander Lensink (2019), Conceptadvies SDE++ CO2-reducerende opties:
23 grootschalige warmtepompen, Den Haag: PBL.

24 Het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) is het nationale instituut voor strategische be-
25 leidsanalyses op het gebied van milieu, natuur en ruimte. Het PBL draagt bij aan de kwaliteit
26 van de politiek-bestuurlijke afweging door het verrichten van verkenningen, analyses en eva-
27 luaties waarbij een integrale benadering vooropstaat. Het PBL is voor alles beleidsgericht.
28 Het verricht zijn onderzoek gevraagd en ongevraagd, onafhankelijk en wetenschappelijk ge-
29 fundeerd.

30 Inhoud

31	1	Introductie	4
32	2	Beschrijving technologie	5
33	3	Algemene aanpak parameters	7
34	3.1	Investeringskosten	7
35	3.2	Operationele kosten (exclusief elektriciteitskosten)	7
36	3.3	Integrale elektriciteitskosten	7
37	3.4	Aanname restwaarde	8
38	3.5	Correctiebedrag	8
39	3.6	Vermeden CO ₂	9
40	3.7	Warmtepomp voor warm water productie	9
41	4	Warmtepomp voor stoomproductie	11
42	5	Stoomrecompressie	12
43		Literatuur	13

1 Introductie

45 Het ministerie van Economische Zaken en Klimaat (EZK) heeft PBL gevraagd advies uit te
46 brengen over de openstelling van de SDE++ (Subsidieregeling voor Duurzame Energie) in
47 2020. Het PBL heeft voor de zogenoemde verbredingsopties ondersteuning gevraagd van
48 ECN-part-of-TNO en Navigant.

49

50 De SDE+ is sinds 2011 het belangrijkste instrument voor de stimulering van de opwekking
51 van hernieuwbare energie in Nederland. Binnen deze regeling wordt jaarlijks de kostprijs van
52 hernieuwbare energie van diverse technologieën bepaald, binnen de SDE+-regeling aange-
53 duid als het basisbedrag. Daarnaast zijn ook het correctiebedrag en de basisprijs belangrijke
54 componenten van de SDE+-regeling.

55

56 In 2020 wordt de bestaande SDE+-regeling verbreed naar de SDE++. Nieuw hierbij is dat
57 naast categorieën voor de productie van hernieuwbare energie ook CO₂-reducerende opties
58 anders dan hernieuwbare energie in aanmerking komen voor subsidie. Dit zorgt ervoor dat
59 de regelgeving en de methodiek en dus ook de uitgangspunten voor de SDE+ zodanig wor-
60 den uitgebreid dat deze ook toepasbaar zijn voor een breder palet aan CO₂-reducerende ca-
61 tegorieën.

62

63 Deze notitie bevat het conceptadvies met betrekking tot grootschalige warmtepompen.

64

65 **Marktconsultatie**

66 Belanghebbenden kunnen schriftelijk een reactie geven op dit conceptadvies en de onderlig-
67 gende kostenbevindingen. Deze schriftelijke reactie dient uiterlijk 27 augustus bij het PBL
68 binnen te zijn. Mocht een aanvullend gesprek door het PBL gewenst worden, dan zal dit tus-
69 sen 2 en 13 september worden gehouden.

70

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

75

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

77 2 Beschrijving

78 technologie

79 Dit advies richt zich op de toepassing van grootschalige warmtepompen voor gebruik van op-
80 waarderen van restwarmte uit industriële processen. De warmte wordt on-site gebruikt voor
81 de eigen industriële processen, dus niet bestemd voor uitkoppeling.

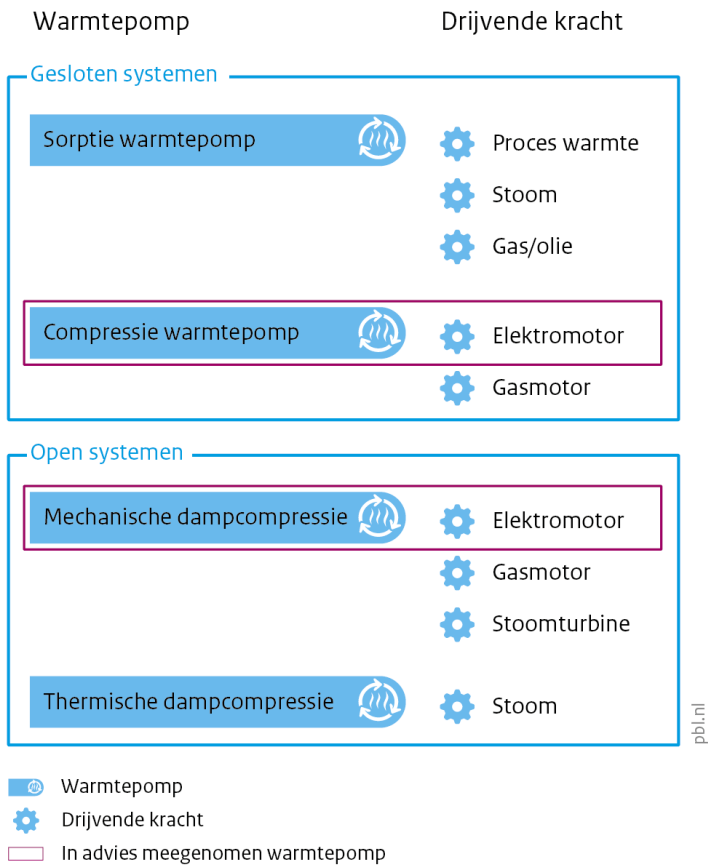
82
83 Warmtepompen gebruiken energie om de bronwarmte van lage temperatuur op te waarde-
84 ren naar warmte met een hogere temperatuur. Hierdoor wordt een temperatuurlift gecre-
85 eerd. De efficiëntie (uitgaande warmtehoeveelheid per gebruikte ingaande energie) van de
86 warmtepomp wordt uitgedrukt als *Coefficient of Performance* (COP). In de industrie gebrui-
87 ken grootschalige warmtepompen proceswarmte als bronwarmte die anders weggekoeld of
88 geloosd zou worden. Door het hergebruik van deze warmte wordt energie en CO₂ uitstoot
89 vermeden (RVO, 2016).

90
91 Voorbeelden van toepassingen voor grootschalige warmtepompen in de industrie zijn:
92 • Chemie (distillatie, verdampen);
93 • Voedings- en genotmiddelenindustrie (sproeidrogen, distillatie, wassen, verdampen);
94 • Papierindustrie (drogen, proceswaterverwarming).

95 Warmtepompen kunnen worden verdeeld in open en gesloten systemen (zie Figuur 2-1). De
96 algemene werking van de warmtepompcyclus is om de verdampingswarmte van de rest-
97 warmte op een nuttig temperatuurniveau terug te winnen. Open systemen maken direct ge-
98 bruik van de in het proces voorkomende damp (vaak waterdamp). In een gesloten systeem
99 wordt gebruik gemaakt van een tussenmedium (RVO, 2016).

100

Soorten grootschalige warmtepompen



Bron: RVO, 2016; bewerking PBL

101
102
103
104

Figuur 2-1: Soorten grootschalige warmtepompen (RVO, 2016). Warmtepompen die in dit advies zijn meegenomen zijn blauw omringd.

105
106
107
108
109

De type grootschalige warmtepompen die worden meegenomen in dit advies zijn:

- Compressiewarmtepompen (elektromotor) voor warmwaterproductie;
- Compressiewarmtepompen (elektromotor) voor stoomproductie;
- Stoomrecompressiewarmtepompen (mechanische damprecompressie met elektromotor).

110
111
112

De overige type warmtepompen uit Figuur 2-1 worden niet meegenomen omdat zij nog niet op industriële schaal commercieel beschikbaar zijn, of omdat de technologie geen subsidie nodig heeft.

113 3 Algemene aanpak

114 parameters

115 De systeemgrenzen van de referentie-installaties zijn de warmtepomp (inclusief compressor,
116 condensor en verdamper), benodigde aanpassingen aan de elektriciteitsinfrastructuur, beno-
117 digde leidingwerk en de aansluiting aan het elektriciteitsnet.

118 3.1 Investeringskosten

119 De investeringskosten bestaan uit de kosten voor de warmtepomp, de inpassingskosten (in-
120 clusief benodigde aanpassingen binnen het hek met betrekking tot de elektriciteitsinfrastruc-
121 tuur en extra leidingwerk voor aansluiting op het stoom- of warmwaternetwerk) en de extra
122 kosten voor het vergroten van de netaansluiting.

123
124 De aanschafprijzen voor de warmtepompen en de inpassingskosten zijn gebaseerd op litera-
125 tuurbronnen ((Blue Terra, 2018) (RVO, 2016); (Navigant, 2019)) en overleg met experts.

126
127 Inpassingskosten zijn site-specifiek en kunnen sterk variëren (Blue Terra, 2018). Voor de
128 inpassingskosten van de referentie-installaties is aangenomen dat deze even groot zijn als de
129 aanschafprijs van de warmtepomp (ECN, 2017).

130
131 De kosten van de netaansluiting zijn gebaseerd op de tarieven van Stedin (Stedin, 2019) en
132 Tennet (Tennet, 2019) en een aangenomen afstand tot het aansluitpunt van 2500 meter.

133 3.2 Operationele kosten (exclusief elektriciteitskosten)

134 De operationele kosten (exclusief elektriciteitskosten) zijn gebaseerd op een studie van Navi-
135 gant (Navigant, 2019) en overleg met experts.

136 3.3 Integrale elektriciteitskosten

137 De integrale elektriciteitskosten bestaan uit de groothandelsprijs, de netwerkkosten, belas-
138 tingen en de vaste kosten.

139
140 De netwerkkosten en belastingen zijn afhankelijk van:

- 141 • Het bedienen van de warmtepomp (vermogen, bedrijfstijd);
- 142 • Het site-specifieke elektriciteitsverbruiksprofiel (referentie-basislastprofiel) van het
143 bedrijf (piekvermogen en bedrijfstijd).

144 **Referentie-basislastprofiel**

145
146 Het referentie-basislastprofiel is van belang vanwege de transport- en belastingtarieven en
147 vanwege volumecorrecties (tot 90% verlaging van transporttarieven) (Staatsblad, 2013) en
148 belastingvoordelen (Belastingdienst, 2018). Per referentie-installatie wordt daarom ook
149 steeds een referentie-basislastprofiel gedefinieerd.

150 **Groothandelsprijs**

151 De gebruikte groothandelsprijs voor basislast is 0,046 €₂₀₂₀/kWh. Dit is een voorlopige
152 groothandelsprijs voor elektriciteit die is berekend op basis van de ongewogen gemiddelde
153 elektriciteitsprijzen van 2020 tot en met 2034 zoals volgens de NEV2017 (Schoots,
154 Hekkenberg, & Hammingh, 2017). Deze voorlopige groothandelsprijs zal vervangen worden
155 door een groothandelsprijs berekend op basis van de ongewogen gemiddelde elektriciteits-
156 prijzen van 2020 tot en met 2034 zoals volgens de Klimaat- en Energieverkenning (KEV) van
157 PBL die later dit jaar uitkomt.

158

159 **Netwerkkosten**

160 De netwerkkosten (kW-gecontracteerd en kW-max, inclusief volumecorrectie) voor de refe-
161 rentie-installatie zijn gebaseerd op de tarieven van Stedin (Stedin, 2019) en Tennet (Tennet,
162 2019) voor 2019 die horen bij de aansluiting van het referentie-basislastprofiel. Deze tarie-
163 ven zijn vermenigvuldigd met het piekvermogen van de warmtepomp om de netwerkkosten
164 te bepalen.

165

166 **Belastingen**

167 De kosten voor de belasting van de referentie-installatie zijn gebaseerd op de tarieven voor
168 2019 die horen bij het referentie-basislastprofiel (marginale kosten).

169

170 **Vaste kosten**

171 De periodieke aansluitingsvergoedingskosten zijn onbekend maar worden aangenomen rela-
172 tief klein te zijn ten opzichte van de overige kostencomponenten. Het vaste deel van de
173 transporttarieven voor de referentie-installatie, het vastrechttarief, is gebaseerd op de tarie-
174 ven van Stedin (Stedin, 2019) voor de aansluiting van het referentie-basislastprofiel.

175 **3.4 Aannee restwaarde**

176 Volgens Navigant is de economische levensduur van een warmtepomp 12 tot 25 jaar
177 (Navigant, 2019). De onderliggende data van deze studie toont echter dat de verwachte le-
178 vensduur meer geconcentreerd is rond 12 tot 16 jaar. Er wordt daarom aangenomen dat er
179 geen restwaarde is na de 15 jaar subsidieperiode.

180 **3.5 Correctiebedrag**

181 De onrendabele top wordt bepaald door het basisbedrag te verminderen met de inkomsten
182 die worden gegenereerd door de technologie. Door het gebruik van grootschalige warmte-
183 pompen wordt het verbruik van gas voor productie van warmte middels een ketel of WKK
184 verminderd. Deze besparing in gasverbruik wordt gezien als inkomsten. Aangenomen wordt
185 dat met name relatief grote bedrijven met distillatie- en droogprocessen grootschalige warm-
186 tepompen zullen inzetten. De aanname is verder dat deze bedrijven grotendeels onder het
187 Europese Emissiehandelssysteem (ETS) vallen. Bedrijven binnen het ETS zijn verplicht jaar-
188 lijks voldoende emissierechten te tonen om hun CO₂-uitstoot te vereffenen (Nederlandse
189 Emissieautoriteit, 2019). Wanneer een ETS-bedrijf minder gas gebruikt voor de levering van
190 warmte door het gebruik van een warmtepomp, wordt er minder CO₂ door dat bedrijf uitge-
191 stoten. Hierdoor zijn er minder emissierechten benodigd en wordt de waarde van de overtol-
192 lige emissierechten gezien als inkomsten.

193

194 **Gasverbruik**

195 Voor het bepalen van het correctiebedrag van warmtepompen voor stoomproductie en
196 stoomrecompressie wordt de referentie-installatie vergeleken met een gasgestookte ketel

197 zonder rookgascondensatie. Het correctiebedrag wordt berekend aan de hand van de formule
198 ($TTF[LHV] + \text{Energiebelasting} + ODE$) / 90% (PBL, 2019).

199

200 Voor het bepalen van het correctiebedrag van warmtepompen voor warmwaterproductie
201 wordt de referentie-installatie vergeleken met een gasgestookte ketel met rookgascondensa-
202 tie. Het correctiebedrag wordt berekend aan de hand van de formule ($TTF[HHV] + \text{Energie-}$
203 $\text{belasting} + ODE$) / 90% (PBL, 2019).

204

205 **CO₂-prijs**

206 De CO₂-prijs zal bepaald worden op basis van de gemiddelde CO₂-prijzen van 2020 tot en
207 met 2034 zoals volgens de KEV die later dit jaar uitkomt.

208

209 **3.6 Vermeden CO₂**

210 De vervangen installatie is een gasgestookte ketel. Verbranding van aardgas heeft een emis-
211 siefactor van 56,6 kg CO₂/GJ aardgas (LHV) (RVO, 2018). Bij een conversie-efficiëntie van
212 100% (bij warmwaterlevering) en 90% (bij stoomlevering) van een gasgestookte ketel is de
213 CO₂-besparing 0,204 respectievelijk 0,226 kg CO₂/kWh_{th}.

214

215 Voor de emissiefactor van de gebruikte elektriciteit (bij 8.000 vollasturen) wordt gerekend
216 met de verwachte CO₂-emissiefactor voor elektriciteit uit het net in 2030 (0,183 kg
217 CO₂/kWh)¹.

218 **3.7 Warmtepomp voor warm water productie**

219 Als referentie-installatie is een 500 kW_{th} compressiewarmtepomp gekozen met een COP van
220 3,5. De warmtepomp gebruikt als bron proceswarmte (30°C warmte na overdracht via warm-
221 tewisselaar) die voorheen werd weggekoeld op de buitenlucht of het oppervlaktewater. De
222 warmtepomp heeft een maximale leveringstemperatuur van 80°C die gebruikt wordt om wa-
223 ter te verwarmen (bijvoorbeeld voor gebouwverwarming). Het gaat om een bedrijf met een
224 totale aansluiting (inclusief warmtepomp) van 5 MW_e en een bedrijfstijd van 8000 uur. Voor
225 de aansluiting van de warmtepomp moet het lokale elektriciteitsnetwerk versterkt worden.
226 De afstand tot het aansluitpunt is 2500 meter. De warmtepomp wordt als basislast ingezet.

227

228 De integrale elektriciteitskosten (inclusief groothandelsprijs, netwerkkosten, belastingen, en
229 vaste kosten) zijn 0,053 €/kWh_e, of 0,015 €/kWh_{th}.

230

231 **Tabel 3-1: Technisch-economische parameters compressiewarmtepomp voor** 232 **warmwaterproductie**

Parameter	Eenheid	Waarde
Inputvermogen	MW _e	0,143
Outputvermogen	MW _{th}	0,500
Vollasturen warmteafzet	Uren/jaar	8000
Investeringskosten	€/kW _{th}	848
Vaste O&M-kosten	€/kW _{th} /jaar	21
Elektriciteitskosten ²	€/kWh _{th}	0,015

¹ Het betreft de emissiefactor van de gemiddelde marginale optie in 2030. Dat is een andere grootheid dan de emissiefactor van de gemiddelde mix in 2030. Deze waarde zal geüpdatet worden met KEV2019-cijfers.

² Inclusief groothandelsprijs, netwerkkosten, belastingen, en vaste kosten.

233
234

Tabel 3-2: Overzicht subsidieparameters compressiewarmtepomp voor warmwaterproductie

Parameter	Eenheid	Waarde
Basisbedrag SDE++	€/kWh _{th}	0,032
Looptijd subsidie	Jaar	15
Voorlopig correctiebedrag gasverbruik	€/kWh _{th}	(TTF[HHV] + Energiebelasting + ODE) / 90%
Voorlopige CO ₂ -prijs	€/t CO ₂	De CO ₂ -prijs zal bepaald worden op basis van de gemiddelde CO ₂ -prijzen van 2020 tot en met 2034 zoals volgens de KEV die later dit jaar uitkomt.

4 Warmtepomp voor stoomproductie

235

236

237 Als referentie-installatie is een 2MW_{th} -compressiewarmtepomp gekozen met een COP van
 238 3,5. De warmtepomp gebruikt als bron proceswarmte (80°C -warmte na overdracht via
 239 warmtewisselaar) die voorheen werd weggekoeld op de buitenlucht of het oppervlaktewater.
 240 De warmtepomp heeft een maximale leveringstemperatuur van 140°C die gebruikt wordt
 241 voor stoomproductie. Het gaat om een bedrijf met een totale aansluiting (inclusief warmte-
 242 pomp) van 5MW_{e} en een bedrijfstijd van 8000 uur. Voor de aansluiting van de warmtepomp
 243 moet het lokale elektriciteitsnetwerk versterkt worden. De afstand tot het aansluitpunt is
 244 2500 meter. De warmtepomp wordt als basislast ingezet.

245

246 De integrale elektriciteitskosten (inclusief groothandelsprijs, netwerkkosten, belastingen, en
 247 vaste kosten) zijn $\text{€}0,053$ per kWh_{e} , of $\text{€}0,015$ per kWh_{th} .

248

249 **Tabel 4-1: Technisch-economische parameters compressiewarmtepomp voor**
 250 **stoomproductie**

Parameter	Eenheid	Waarde
Inputvermogen	MW_{e}	0,571
Outputvermogen	MW_{th}	2,000
Vollasturen warmteafzet	Uren/jaar	8000
Investeringskosten	$\text{€}/\text{kW}_{\text{th}}$	922
Vaste O&M-kosten	$\text{€}/\text{kW}_{\text{th}}/\text{jaar}$	28
Elektriciteitskosten ³	$\text{€}/\text{kWh}_{\text{th}}$	0,015

251

252 **Tabel 4-2: Overzicht subsidieparameters compressiewarmtepomp voor stoompro-**
 253 **ductie**

Parameter	Eenheid	Waarde
Basisbedrag SDE++	$\text{€}/\text{kWh}_{\text{th}}$	0,034
Looptijd subsidie	Jaar	15
Voorlopig correctiebedrag gasverbruik	$\text{€}/\text{kWh}_{\text{th}}$	(TTF[LHV] + Energiebelasting + ODE) / 90%
Voorlopige CO_2 -prijs	$\text{€}/\text{t CO}_2$	De CO_2 -prijs zal bepaald worden op basis van de gemiddelde CO_2 prijzen van 2020 tot en met 2034 zoals volgens de KEV die later dit jaar uitkomt.

³Inclusief groothandelsprijs, netwerkkosten, belastingen en vaste kosten.

5 Stoomrecompressie

254

255 Als referentie-installatie is een 5MW_{th} -stoomrecompressie warmtepomp gekozen met een
256 COP van 7. De warmtepomp gebruikt als bron stoom met een overdruk van 2,5 barg (138°C)
257 die gebruikt wordt opgewaardeerd naar stoom met een overdruk van 10 barg (184°C). Het
258 gaat om een bedrijf met een totale aansluiting (inclusief warmtepomp) van 25MW_e en een
259 bedrijfstijd van 8000 uur. Voor de aansluiting van de warmtepomp moet het lokale elektrici-
260 teitsnetwerk versterkt worden. De afstand tot het aansluitpunt is 2500 meter. De warmte-
261 pomp wordt als basislast ingezet.

262

263 De integrale elektriciteitskosten (inclusief groothandelsprijs, netwerkkosten, belastingen en
264 vaste kosten) zijn $0,048\text{ €/kWh}_e$ of $0,007\text{ €/kWh}_{\text{th}}$.

265

266

Tabel 5-1: Technisch-economische parameters stoomrecompressie-warmtepomp

Parameter	Eenheid	Waarde
Input vermogen	MW_e	0,714
Output vermogen	MW_{th}	5,000
Vollasturen warmteafzet	Uren/jaar	8000
Investeringskosten	€/kW_{th}	906
Vaste O&M-kosten	$\text{€/kW}_{\text{th}}/\text{jaar}$	17
Elektriciteitskosten ⁴	€/kWh_{th}	0,007

267

268

Tabel 5-2: Overzicht subsidieparameters stoomrecompressie-warmtepomp

Parameter	Eenheid	Waarde
Basisbedrag SDE++	€/kWh_{th}	0,023
Looptijd subsidie	Jaar	15
Voorlopig correctiebedrag gasverbruik	€/kWh_{th}	(TTF[LHV] + Energiebelasting + ODE) / 90%
Voorlopige CO ₂ -prijs	€/t CO_2	De CO ₂ -prijs zal bepaald worden op basis van de gemiddelde CO ₂ -prijzen van 2020 tot en met 2034 zoals volgens de KEV die later dit jaar uitkomt.

⁴ Inclusief groothandelsprijs, netwerkkosten, belastingen en vaste kosten.

Literatuur

- 270 Belastingdienst. (2018). *Handboek milieubelastingen 2018*.
- 271 Blue Terra. (2018). *Hoogtemperatuurwarmtepompen rentabiliteit warmtepompen*.
- 272 ECN. (2017). *Dutch program for the acceleration of sustainable heat management in industry*.
- 273 Navigant. (2019). *Verkenning uitbreiding SDE+ met industriële opties*.
- 274 Nederlandse Emissieautoriteit. (2019). *Verplichtingen ETS*. Opgehaald van nea Nederlandse
275 Emissieautoriteit: <https://www.emissieautoriteit.nl/onderwerpen/verplichtingen-ets>
- 276 PBL. (2019). *Conceptadvies SDE++ 2020 warmte*.
- 277 RVO. (2016). *Industriële warmtepompen*.
- 278 RVO. (2018). *Nederlandse lijst van energiedragers en standaard CO2 emissiefactoren*.
- 279 Schoots, K., Hekkenberg, M., & Hammingh, e. P. (2017). *Nationale Energieverkenning 2017*.
280 ECN-O--17-018. Petten: Energieonderzoek Centrum Nederland.
- 281 Staatsblad. (2013). *Wet van 18 december 2013 tot wijziging van de Elektriciteitswet 1998*
282 *(volumecorrectie nettarieven voor de energie-intensieve industrie)*.
- 283 Stedin. (2019). *Elektriciteit tarieven 2019*.
- 284 Tennet. (2019, april 29). *Kosten van een netaansluiting*. Opgehaald van Tennet:
285 [https://www.tennet.eu/nl/elektriciteitsmarkt/aansluiten-op-het-nederlandse-](https://www.tennet.eu/nl/elektriciteitsmarkt/aansluiten-op-het-nederlandse-hoogspanningsnet/kosten-van-een-netaansluiting/)
286 [hoogspanningsnet/kosten-van-een-netaansluiting/](https://www.tennet.eu/nl/elektriciteitsmarkt/aansluiten-op-het-nederlandse-hoogspanningsnet/kosten-van-een-netaansluiting/)
- 287 Tennet. (2019). *Tarievenbesluit TenneT 2019*.